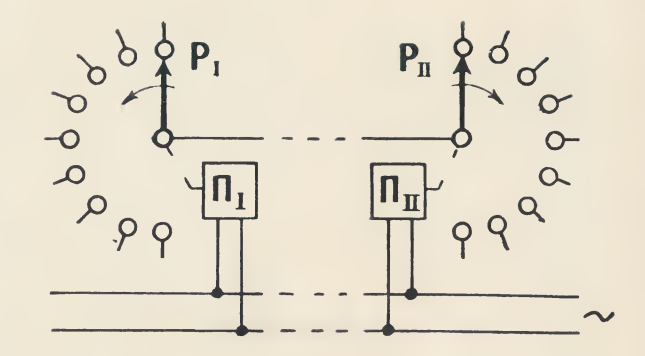
библиотека по автоматике

В. С. Малов

# ТЕЛЕМЕХАНИКА




ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

*Выпуск 13*

В. С. МАЛОВ

# ТЕЛЕМЕХАНИКА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-5(4)-3

В книге в краткой форме изложены основные принципы телемеханики и способы построения телемеханических систем (систем телеуправления — телесигнализации и систем телеизмерения).

Книга рассчитана на широкий круг лиц, интересующихся телемеханикой, в особенности на инженеров, не имеющих специальной подготовки в области телемеханики.

*Малов Владимир Сергеевич*

ТЕЛЕМЕХАНИКА

Редактор *Б. Я. Жуховицкий* Техн. редактор *К. П. Воронич*

Сдано в набор 16/II 1960 г. Подписано к печати 9/IV 1960 г
Т-04084. Бумага $84\times108^1/_{32}$ 4.9 печ. л. Уч.-изд. л. 5,4.
Тираж 23 000 экз. Цена 2 р. 70 к. Заказ 2086

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Телемеханика находит все большее применение в энергетике, промышленности, на транспорте, в коммунальном хозяйстве и в ряде других отраслей народного хозяйства нашей страны.

В энергетике с помощью средств телемеханики осуществляется диспетчерский контроль за работой электростанций и подстанций, входящих в состав энергетических систем; автоматизированные гидроэлектростанции и подстанции имеют телеуправление. Средства телемеханики обслуживают диспетчерскую централизацию железных дорог; на электрифицированных железных дорогах применяется телеуправление автоматизированными тяговыми подстанциями. Телемеханика используется для централизованного управления наружным освещением городов, для управления насосными станциями городских водопроводов и регуляторными станциями газораспределительных сетей. В последние годы телемеханика внедряется на нефтяных и газовых промыслах, газопроводах и нефтепроводах. Непрерывно расширяется применение телемеханики в энергохозяйстве крупных предприятий.

Осуществление комплексной автоматизации в промышленности непосредственно связано с широким использованием средств телемеханики. Поэтому телемеханика привлекает внимание широкого круга специалистов и в особенности инженеров и техников, работающих в области автоматизации.

За последние годы у нас издан ряд книг по телемеханике, в которых освещены те или иные разделы этой дисциплины. Здесь следует, в частности, упомянуть книги Г. М. Жданова, О. А. Горяинова и Р. Л. Райнеса, А. В. Фремке, В. С. Малова, сборник под редакцией М. А. Гаврилова «Телемеханизация в народном хозяйстве», а также ряд переводных изданий.

При всех неоспоримых достоинствах, эти книги обладают одним существенным недостатком. Основное внима-

ние в них уделено подробному описанию многочисленных средств телемеханики, а общие принципы телемеханики выявлены относительно слабо; кроме того, отдельные разделы телемеханики (телеуправление, телеизмерение, каналы связи) рассматриваются обособленно.

В этой небольшой по объему книге делается попытка восполнить отмеченный пробел и дать краткое изложение задач телемеханики, важнейших принципов и методов построения телемеханических систем; описания конкретных систем телеуправления и телеизмерения приводятся лишь в качестве иллюстративного материала. Такое построение книги, по мнению автора, даст возможность инженерам, не имеющим специальной подготовки в области телемеханики, усвоить наиболее важные положения теории и техники телемеханики. Подробные сведения по выполнению технических средств читатель при желании сможет найти в упомянутых выше книгах. Список основной литературы по телемеханике помещен в конце книги.

Весьма ограниченный объем книги создает затруднения в изложении ряда разделов телемеханики, поэтому для некоторых разделов приведены только основные положения.

В телемеханике и смежных дисциплинах (теории связи и др.) пока отсутствует установившаяся терминология. Ввиду этого автор счел возможным придерживаться терминологии, представляющейся ему более строгой, хотя и не всегда совпадающей с принятой в других книгах по телемеханике.

# *Глава первая*

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## 1-1. Основные понятия и определения

*Телемеханикой* называют область техники и научную дисциплину, охватывающую теорию и технические средства преобразования и передачи на расстояние информации для управления производственными процессами.

Существует, как известно, много систем передачи на расстояние информации различного рода. К ним относятся, в частности, системы телефонной связи и телеграфирования, радиовещания, телевидения и т. п. Методы технического осуществления таких систем и систем телемеханики во многом сходны, что позволяет объединить их в общий класс *систем передачи информации* по проводным или беспроволочным линиям связи. Приведенное выше определение телемеханики подчеркивает основную ее особенность: телемеханика является составной частью техники управления производственными процессами. Это сближает ее с автоматикой—другой, наиболее развитой частью техники управления. Нередко телемеханические системы дополняют системы автоматики, совместно решая общую задачу управления процессом.

Заметим, что термин «производственный процесс» здесь следует понимать в самом общем смысле: имеются в виду как технологические процессы на заводах, фабриках и электростанциях, так и рабочие процессы движения поездов на железнодорожном транспорте, полетов самолетов и ракет и т. п.

Обычно телемеханические системы выполняют следующие функции:

а) контроль на расстоянии за технологическим процессом;

б) вмешательство на расстоянии в работу производ-

ственных установок, в частности, путем изменения задания местным устройствам автоматики;

в) координация работы (подчинение одному закону) разделенных расстоянием автоматизированных производственных установок, являющихся частью общей автоматизированной системы.

Дальнейшим развитием последней функции является применение телемеханики совместно с управляющей машиной. В этом случае системы телемеханики становятся органической частью автоматической системы управления. Системы телемеханики вводят в управляющую машину, установленную в центральном пункте управления, информацию о ходе технологического процесса на отдельных установках и передают этим установкам команды, вырабатываемые управляющей машиной.

Важнейшей задачей систем телемеханики, как и других информационных систем, является преодоление затруднений, связанных с передачей информации на большие расстояния. Особенно важно обеспечить достаточную надежность передачи информации при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию линий связи, по которым передается информация. Таким образом, в основе выбора способов осуществления телемеханических систем заложены как технические факторы (надежность), так и экономические факторы (затраты на сооружение линии связи). Длина линии связи не является единственным критерием для оценки целесообразности применения в данных условиях телемеханической системы вообще или выбора определенной системы из нескольких возможных. Так, применение средств телемеханики может оказаться целесообразным даже при весьма незначительных расстояниях[1].

Телемеханические системы могут обслуживать как *стационарные* (неподвижные), так и *подвижные* объекты. К первой категории (стационарные объекты) относится большая часть сооружений на заводах и электростанциях, нефтяных и газовых промыслах, на транспорте, в коммунальном хозяйстве; к числу подвижных объектов относятся прежде всего самолеты, ракеты и т. п.

---

[1] В качестве примера приведем случай, описанный в одном из американских технических журналов, когда телемеханическая система была применена для передачи измерений на расстояние около десяти метров с находящегося под высоким напряжением разрядника. Сигналы передавались в виде модулированных световых импульсов.

В этой книге основное внимание будет уделено наиболее широко распространенным в промышленности и на железнодорожном транспорте системам со стационарными объектами.

Стационарные объекты телемеханического управления и контроля могут быть либо собраны в одном пункте (производственном сооружении), либо разбросаны поодиночке или небольшими группами по всей территории предприятия. Телемеханическую систему, обслуживающую объекты первого типа, называют системой с *сосредоточенными объектами;* система второго типа называется системой *с рассредоточенными* объектами.

Сосредоточенные объекты типичны, например, для электростанций и подстанций: на каждой из них размещается значительное число (несколько десятков) объектов контроля и управления (выключателей отходящих линий, трансформаторов, генераторов и т. д.). В этом случае телеуправление и телеконтроль осуществляются с диспетчерского пункта, с которым электростанция (подстанция) обычно связывается прямой линией связи.

Примером системы с рассредоточенными объектами может служить система телеуправления насосными установками на нефтепромыслах. Здесь каждая из многочисленных насосных установок, находящихся на территории промысла, является отдельным исполнительным пунктом. Телемеханическая система обслуживает большую группу таких исполнительных пунктов.

На рис. 1 показаны характерные структуры линий связи для телемеханических систем обоих типов — системы с сосредоточенными объектами (рис. 1,*а*) и различные системы с рассредоточенными объектами: радиальная (рис. 1,*б*), лучевая (рис. 1,*в*) и наиболее общая, древовидная структура (рис. 1,*г*).

Всю информацию, передаваемую телемеханическими системами, можно разделить на два типа.

Первый тип информации — это *непрерывные* сообщения, например при телепередаче значений контролируемых физических величин (тока, мощности, давления и расхода жидкости или газа и т. д.). Такие физические величины описываются непрерывным рядом значений.

Второй тип информации — это *дискретные* сообщения, т. е. передача конечного (обычно относительно небольшого) числа сообщений. Дискретные сообщения, как правило, передаются при сигнализации состояний контролируемых

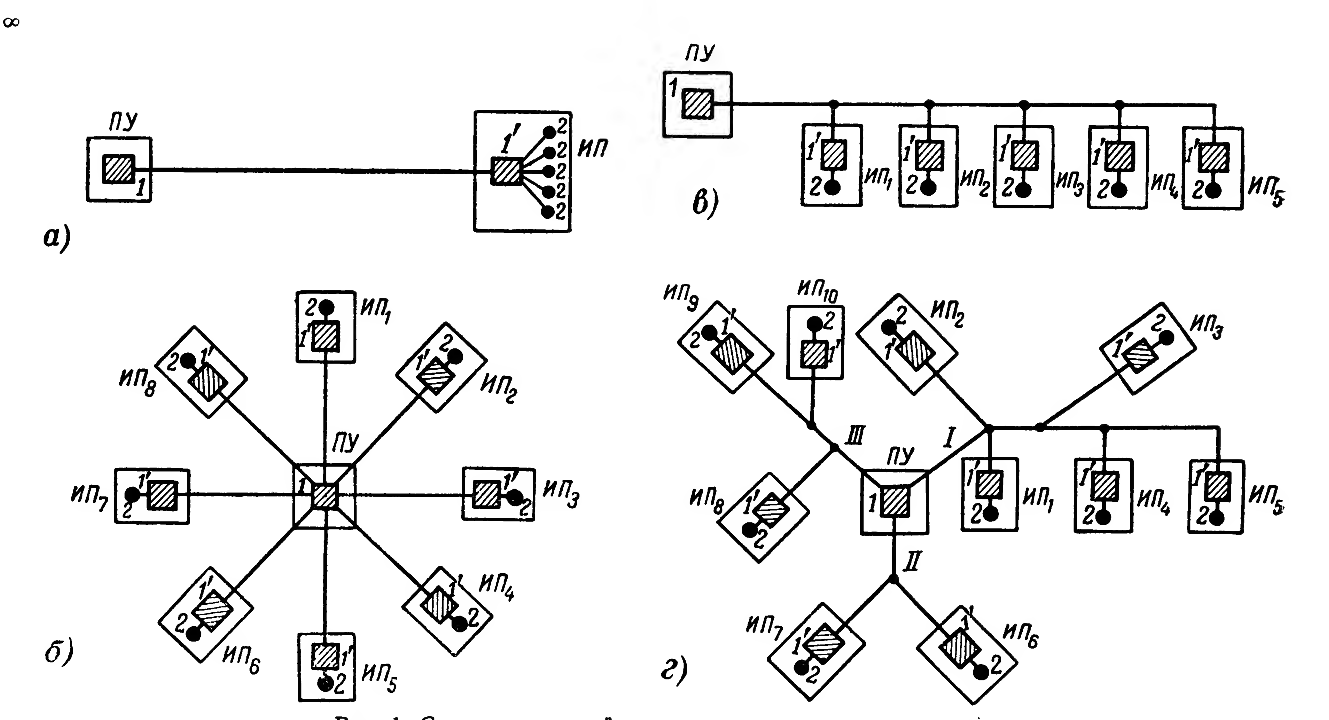



Рис. 1. Структура линий связи телемеханических систем.

**ПУ** — пункт управления; *ИП* — исполнительный пункт; *1* и *1′* — телемеханическое устройство; *2* — объект управления и контроля.

объектов. Обычно фиксируется ограниченное число состояний каждого объекта, а часто даже фиксируют лишь предельные состояния объекта и передают только два сообщения (например, «включено—отключено», «открыто—закрыто», «выше нормы—ниже нормы» и т. п.). Дискретные сообщения обычны и при телеуправлении, т. е. при передаче команд (например, «включить—отключить», «открыть—закрыть»). Однако применяются и непрерывные команды (например, задание курса, изменение положения механизма и т. п.). Тогда применяются непрерывные сообщения, как и при передаче непрерывного ряда значений физических величин.

Как будет показано далее, характер сообщений (непрерывные или дискретные) в значительной мере определяет специфику телемеханических систем.

По выполняемым функциям системы телемеханики можно подразделить следующим образом:

1. *Системы телеизмерения* — осуществляют передачу непрерывного ряда значений измеряемых величин для наблюдения за этими величинами или их регистрации или для ввода данных в автоматические устройства.

2. *Системы телесигнализации*—передают различного рода дискретные сообщения о ходе производственных процессов: сигналы о достижении контролируемыми параметрами предельных значений, о возникновении аварийного состояния, о вводе в действие и выводе из работы технологического оборудования. Системы телеизмерения и телесигнализации называют еще системами телеконтроля.

3. *Системы телеуправления* — применяются для передачи команд управления производственными установками: включения и отключения оборудования, изменения нагрузки, скорости движения, регулирования подачи жидкостей и газов, изменения курса и т. п. В зависимости от характера команд передаваемые сообщения могут быть как непрерывными (например, плавное изменение нагрузки), так и дискретными (например, включение или отключение оборудования). В промышленных системах телеуправления в большинстве случаев применяется передача дискретных сообщений.

## 1-2. Информация и системы передачи информации

В последние годы создана и развивается новая теоретическая дисциплина—*теория информации.* Теория информации уделяет основное внимание вопросам преобразо-

вания информации и ее передачи по линии связи. Математическим аппаратом теории информации является теория вероятностей и математическая статистика.

Приложение теории информации к интересующей нас разновидности систем передачи информации — к системам телемеханики — оказывается удобным для анализа свойств последних.

Изложение содержания теории информации выходит за пределы программы данной книги. Тем не менее уместно привести здесь некоторые важные положения этой теории, необходимые для рассмотрения систем телемеханики.

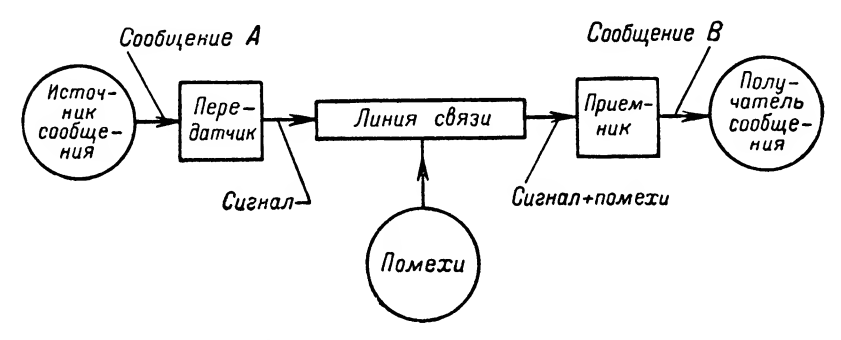



Рис. 2. Схема системы передачи информации.

Согласно теории информации система передачи информации состоит из следующих элементов (рис. 2): передатчика, преобразующего сообщение в сигнал, линии связи, по которой передается сигнал, приемника, вновь преобразующего сигнал в сообщение. Сообщение поступает в передатчик от источника сообщений. Приемник выдает информацию получателю сообщений.

Конечной целью системы является передача сообщения от источника сообщения к получателю. Цель эту надо считать достигнутой, если принятое получателем сообщение $B$ точно соответствует переданному сообщению $A$. Однако система передачи информации находится под воздействием помех, в результате чего передаваемые по линии связи сигналы могут быть искажены, и сообщение может быть принято получателем с искажением.

Уточним понятия, примененные нами при описании системы передачи информации. Под *сообщением* подразумевается все то, что подлежит передаче — поступает на вход передатчика или создается на выходе приемника.

*Сигналом* называется физический процесс (например, определенная последовательность электрических импульсов или электрические колебания определенной частоты), однозначно соответствующий данному сообщению. Для передачи сигналов передатчик и приемник соединяются *линией связи.* Последней может служить проводная цепь или радиолиния. По линии связи часто передаются одновременно несколько сообщений, т. е. несколько сигналов передается от группы передатчиков к соответствующим им приемникам (многократная передача сигналов).

Совокупность технических средств, необходимых для независимой передачи данного сообщения, называют *каналом связи.* Таким образом, многократная передача сигналов по линии связи означает, что на данной линии связи образовано несколько каналов связи (многоканальная связь).

Под *помехами* подразумеваются любые мешающие воздействия, возникающие в процессе передачи сообщения. На нашей схеме условно показано, что помехи действуют в линии связи. В реальных системах мешающие воздействия могут возникать также в передатчиках и приемниках (*аппаратурные помехи*).

Установим также понятие информации. Понятия информации и сообщение не тождественны. *Информацией* являются содержащиеся в сообщении сведения, заранее неизвестные получателю.

В качестве примера системы передачи информации рассмотрим систему телеграфирования по проводам. Здесь источником сообщения является отправитель телеграммы, а сообщением — текст телеграммы. Очевидно, что не весь текст телеграммы содержит сведения, неизвестные адресату — получателю сообщения; распространенная количественная оценка телеграммы, как сообщения по числу слов отнюдь не будет характеризовать содержащуюся в ней информацию.

Передатчиком сигналов в нашей системе служит передающий телеграфный аппарат, посылающий электрические сигналы по условной системе, в которой каждой букве или цифре текста соответствует определенный электрический сигнал (комбинация разнополярных импульсов). Сигналы эти передаются по проводной линии связи, причем линия связи многократно уплотняется и используется для одновременной передачи сигналов от нескольких телеграфных аппаратов к соответствующим приемным аппаратам. Теле-

графный аппарат-приемник, установленный на другом конце линии связи, расшифровывает принимаемые сигналы и отпечатывает текст телеграммы на ленте или бланке, воспроизводя первоначальное сообщение. Этот текст и поступает к адресату—получателю сообщения.

Нередко в принятом тексте телеграммы обнаруживаются искажения, порожденные действием помех. Последние могли возникнуть как в результате мешающих влияний в канале связи (атмосферные помехи или помехи от влияния других каналов связи данной линии или соседних линий связи), так и за счет нечеткого действия передающего или приемного телеграфных аппаратов (аппаратурные помехи). Искаженное сообщение, естественно, содержит меньше информации, чем первоначальное сообщение.

Разобранный здесь пример поясняет, как реализуется схема системы передачи информации (рис. 2).

Теория информации позволяет решать две основные задачи, связанные с передачей сообщений:

а) определение степени использования возможностей сигнала и пропускной способности канала связи, т. е. *эффективности* передачи сообщений;

б) установление целесообразной системы сигналов с точки зрения минимальной вероятности искажения помехой, т. е. обеспечения *помехоустойчивости* передачи сообщений.

Для теории информации, как уже было сказано, характерен подход к решению этих задач с позиций теории вероятностей и математической статистики и стремление дать количественную, математическую оценку системы и передаваемой ею информации.

Важнейшим показателем системы передачи информации является *количество информации.* Введение такого показателя позволяет однозначно оценить передаваемую информацию независимо от ее характера и природы.

В основе определения количества информации, подаваемой на вход системы, лежит оценка вероятности возникновения данного сообщения. Если общее число различных сообщений равно $N$ и возникновение любого из этого числа сообщений равновероятно, то вероятность возникновения данного сообщения будет обратно пропорциональна общему числу возможных сообщений:

$$p = \frac{1}{N}.$$

В случае, когда вероятности возникновения сообщений различны, это простое соотношение не может быть применено.

Пусть каждое из $N$ сообщений передается в виде условной комбинации $n$ знаков (символов) или, иначе говоря, *элементов сообщения.* Для того чтобы при постоянном числе элементов сообщения $n$ можно было составить $N$ различных комбинаций, каждый из $n$ элементов сообщения должен иметь одно из нескольких возможных различных состояний. Если число этих состояний есть $m$, а вероятности появления любого из $m$ состояний одинаковы, то общее число возможных сообщений составит:

$$N = m^n.$$

Количество информаций принято оценивать логарифмом числа возможных сообщений:

$$I = \log_a N = n \log_a m.$$

Такой способ оценки удобен тем, что количество информации $I$ и число элементов сообщения $n$ связываются пропорциональной зависимостью.

Выбор основания логарифма $a$ в принципе безразличен. Обычно принимают $a=2$. В этом случае единицей количества информации будет служить информация, которой располагает сообщение, содержащее всего один элемент $(n=1)$, обладающий двумя противоположными состояниями типа «да — нет» $(m=2)$:

$$I = n \log_2 m = 1 \cdot \log_2 2 = 1.$$

Количество информации исчисляется при этом в двоичных единицах:

$$I = n \log_2 m \text{ [дв. ед.]}.$$

Как уже было сказано выше, это соотношение справедливо только при равнозероятности всех $m$ возможных состояний элемента сообщения. В более общем случае, когда вероятности этих $m$ состояний соответственно

$$p_1,\ p_2,\ p_3,\ \ldots,\ p_i,\ \ldots,\ p_m,$$

количество информации определяется формулой

$$I = -n \sum_{i=1}^{m} p_i \log_2 p_i.$$

Нетрудно показать, что формула

$$I = n \log_2 m$$

представляет собой частный случай общей формулы для количества информации при

$$p_1 = p_2 = \ldots = p_i = \ldots = p_m = \frac{1}{m}.$$

Действительно, при этом

$$I = -n \sum_{i=1}^{m} p_i \log_2 p_i = -nm \left(\frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m}\right) = n \log_2 m.$$

Исходя из определения понятия информации, можно характеризовать количество информации как степень неопределенности данного сообщения до того, как сообщение получено. Очевидно, что наибольшая неопределенность будет иметь место в том случае, если все возможные состояния элементов сообщения имеют равные вероятности появления.

Проиллюстрируем это примером. Пусть для передачи всех возможных сообщений используются сигналы одинаковой длины, составленные из семи элементов, причем число возможных состояний равно двум ($n = 7$, $m = 2$).

Определим количество информаций в двух случаях:

а) вероятности обоих состояний элемента равны

$$p_1 = p_2 = \frac{1}{2} \quad \text{и}$$

б) вероятность появления одного состояния в 3 раза больше чем другого,

$$p_1 = \frac{3}{4}; \quad p_2 = \frac{1}{4}.$$

В случае а)

$$I = 7 \log_2 2 = 7 \text{ дв. ед.}$$

В случае б)

$$I = -7 \left(\frac{3}{4} \log_2 \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4}\right) = -7 \left(\frac{3}{4} \log_2 3 - \frac{3}{4} \log_2 4 - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{4} \log_2 4\right) = -7 \left(\frac{3}{4} \cdot 1,585 - \frac{3}{4} \cdot 2 - \frac{1}{4} \cdot 2\right) = 5,67 \text{ дв. ед.*}$$

Таким образом, во втором случае количество информации меньше, чем в первом.

---

* См. таблицу двоичных логарифмов (приложение 2).

Приведенные здесь формулы количества информации можно применить не только в разобранных выше случаях, когда число возможных сообщений конечно, но и при непрерывных сообщениях. Примером непрерывных сообщений может служить передача значений какой-либо измеряемой величины $x$ (тока, напряжения, давления жидкости или газа, уровня жидкости и т. п.); в этом случае число значений измеряемой величины не ограничено. Однако

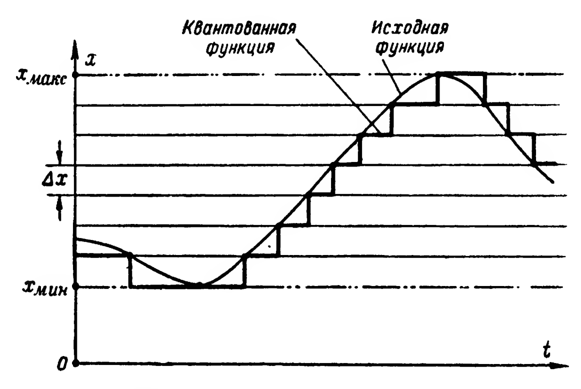



Рис. 3. График процесса квантования сообщения.

для получения показаний достаточно передавать конечное число значений. Действительно, система измерения обладает некоторой «разрешающей способностью», мерой которой может служить погрешность измерения $\Delta x$. Следовательно, можно ограничиться передачей значений измеряемой величины, отличающихся друг от друга на величину $\Delta x$ (рис. 3), т. е. заменить непрерывный ряд значений $x$ конечным числом значений $N$:

$$N = \frac{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}{\Delta x}.$$

Такой процесс называют *квантованием*, а $\Delta x$ — шагом квантования. Количество информации квантованной функции может быть определено аналогично тому, как это делалось при дискретных сообщениях.

Для характеристики сигнала, передаваемого по каналу связи, иногда используется понятие *объема сигнала*. Объем сигнала $V$ равен произведению трех параметров («координат») сигнала: полосы частот $F$, требуемой для передачи

сигнала, времени передачи сигнала $T_э$ и превышения $H$ мощности сигнала $P_с$ над мощностью помех $P_п$:

$$V = FTH,$$

где

$$H = \log_2 \frac{P_с}{P_п}.$$

Следует заметить, что хотя в большинстве случаев сигналы обладают неограниченным спектром частот (например, непериодические импульсные посылки, периодические последовательности импульсов, частотно-модулированные сигналы), полоса передаваемых по каналу связи частот всегда ограничивается. Обычно для этой цели на

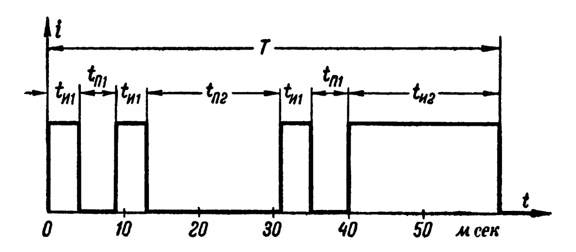



Рис. 4. График сигнала.

входе канала связи включается фильтр, пропускающий лишь определенную полосу частот $F$. При этом $F$ выбирается таким образом, чтобы искажения сигнала не превышали допустимых. Например, при передаче отдельных импульсов, если на приемном конце канала связи требуется только отметить наличие импульсов, частотный спектр может быть ограничен частотой

$$F = \frac{1}{t_{мин}},$$

где $t_{мин}$ — продолжительность самого короткого импульса.

Рассмотрим пример определения объема сигнала. Пусть передается непериодическая последовательность импульсов, представленная на рис. 4: $t_{И1} = 4$ *мсек*; $t_{И2} = 20$ *мсек*; $t_{П1} = 5$ *мсек*; $t_{П2} = 18$ *мсек*. Мощность сигнала в 5 раз превышает мощность помех, возникающих в канале связи. Определяем координаты сигнала.

Полоса частот передачи должна быть ограничена частотой

$$F = \frac{1}{t_{И1}} = \frac{10^3}{4} = 250\ гц.$$

Время передачи сигнала

$$T = 3t_{И1} + 2t_{П1} + t_{И2} + t_{П2} = 3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-3} + 18 \cdot 10^{-3} = 0{,}06\ сек;$$

$$H = \log_2 \frac{P_с}{P_п} = \log_2 5 = 2{,}32.$$

Объем сигнала

$$V = 250 \cdot 0{,}06 \cdot 2{,}32 = 34{,}8.$$

Подобным образом определяется и емкость канала $V_к$:

$$V_к = F_к T_к H_к;$$

здесь $F_к$ — полоса частот, пропускаемая каналом;

$T_к$ — время, на которое канал предоставляется для передачи сигнала.

При определении $H_к$ учитывается максимальная мощность сигнала $P_{с.к}$, которую может пропустить канал, и мощность помех в канале.

Условие $V_к \geqslant V$ является необходимым условием передачи сигнала по каналу. Однако, это условие не всегда бывает достаточным; например, полоса частот, пропускаемых каналом, может оказаться меньше необходимой для передачи сигнала ($F_к < F$).

Таким образом, достаточным условием является:

$$F_к \geqslant F; \quad T_к \geqslant T; \quad H_к \geqslant H.$$

Если необходимое условие соблюдено ($V_к \geqslant V$), а достаточные не все выполняются, то передача сигнала может быть обеспечена путем преобразования сигнала.

Например, пусть требуется передать рассмотренный выше сигнал (рис. 4) по каналу со следующими характеристиками:

$$F_к = 100\ гц; \ T_к = 1\ сек; \ \frac{P_{с.к}}{P_п} = 10.$$

При этом $V_к = 100 \cdot 1 \cdot \lg_2 10 = 322$, что значительно превышает объем сигнала ($V = 34{,}8$). Однако условие $F_к \geqslant F$ не соблюдено ($F_к = 100\ гц$, $F = 250\ гц$).

Для того чтобы сигнал можно было передать по каналу, достаточно увеличить продолжительность всех элементов сигнала про-

порционально $\frac{F}{F_к}=\frac{250}{100}=2{,}5$, т. е. выбрать $t_{И1}=10$ *мсек*, $t_{П1}=12{,}5$ *мсек*, $t_{И2}=50$ *мсек*, $t_{П2}=45$ *мсек*, при этом $F=\frac{10^3}{10}=100$ *гц* $=F_к$, а объем сигнала не изменился.

Таким образом, одним из способов преобразования сигнала является варьирование $F$ и $T$ при неизменном их произведении. Преобразование сигнала по уровню для восстановления условий $F_к \geqslant F$ или $T_к \geqslant T$ может быть выполнено лишь в немногих случаях.

В теории информации вводится еще один количественный показатель системы передачи информации — *пропускная способность системы* или максимальная скорость передачи информации.

Пропускная способность

$$C=F\log_2\left(1+\frac{P_с}{P_п}\right).$$

Формула определяет максимальную пропускную способность системы, или количество информации в единицу времени. Как показывает формула, с увеличением отношения $P_с/P_п$ пропускная способность $C$ увеличивается.

Следует пояснить также понятие *избыточности*, с которым в дальнейшем придется оперировать при рассмотрении телемеханических сигналов. Как уже было отмечено, количество информации, содержащееся в сообщении определенной длины, в зависимости от характера сообщения может быть различным. Иначе говоря, количество информации, приходящееся на один элемент сообщения, не является постоянным. Максимальное количество информации на элемент будет содержать сообщение, число элементов которого $n_0$ определяется из формулы

$$I=n_0\log_2 m \quad \left(p_1=p_2=\ldots p_i=\ldots=p_m=\frac{1}{m}\right).$$

Увеличение длины сообщения по сравнению с $n_0$ будет характеризовать избыточность сообщения. Избыточность, хотя и удлиняет сообщение, может быть полезна для повышения помехоустойчивости системы передачи информации, так как помогает восстановить содержание сообщения при искажении сигнала помехой. Далее это будет рассмотрено подробнее (см. гл. 2). Здесь в качестве примера использования избыточности можно указать на известный способ передачи сообщений с повторением сигналов.

Очевидно, что такой способ повышает надежность передачи сообщения, так как вероятность повторных однотипных искажений сигнала относительно мала.

Уточним понятие помехоустойчивости. При передаче сигнала по каналу связи действие помех определенной критической интенсивности вызывает ошибку в расшифровке сигнала приемником. Критическая интенсивность помех,

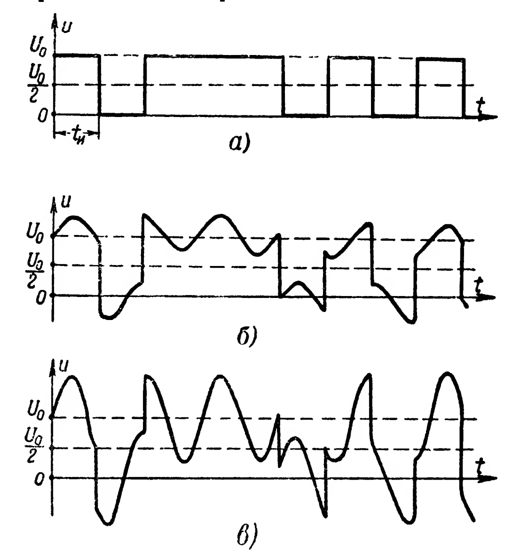



Рис. 5. Воздействие синусоидального напряжения помехи на периодический импульсный сигнал.

*а* — сигнал; *б* — сигнал, искаженный помехой, при $U_{пm} < \frac{U_0}{2}$; *в* — то же при $U_{пm} > \frac{U_0}{2}$; $U_0$ — амплитуда сигнального импульса; $U_{пm}$ — амплитуда напряжения помехи.

обычно оцениваемая по отношению к интенсивности сигнала, определяется видом сигнала, характером помех и способом приема сигнала.

Если помеха имеет случайный характер, то мерой помехоустойчивости может служить вероятность или средняя частота появления ошибки. При данной средней мощности помехи вероятность появления ошибки будет зависеть от статистической характеристики помех.

Для примера рассмотрим действие помех двух характерных типов на импульсный сигнал (рис. 5, *а*). Первый

тип помехи—одночастотное синусоидальное напряжение, причем частота помехи соизмерима с частотой следования импульсов. Так как амплитуда помехи $U_{\text{п}m}$ постоянна, то существует 100%-ная вероятность, что сигнал не будет разрушен, если $U_{\text{п}m} < \frac{U_0}{2}$ (рис. 5, *б*), и напротив, что при $U_{\text{п}m} > \frac{U_0}{2}$ обычные методы приема не дадут

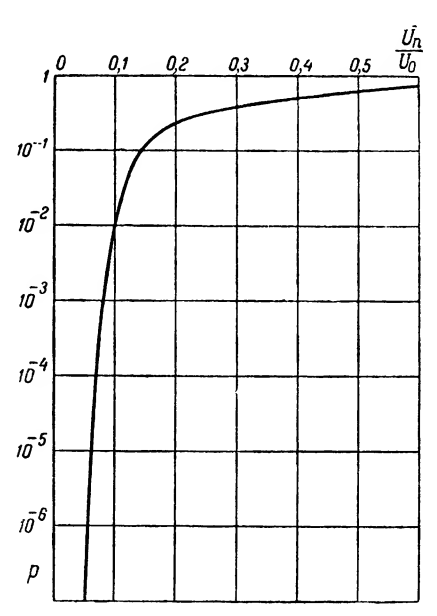



Рис. 6. Зависимость вероятности искажения сигнала помехой от отношения $\bar{U}_{\text{п}}/U_0$.

возможности восстановить первоначальный сигнал. Таким образом, критическим будет соотношение $\frac{U_{\text{п}m}}{U_0} = \frac{1}{2}$.

Второй тип помехи — так называемый «белый шум», т. е. последовательность частых коротких импульсов, хаотически размещенных во времени и имеющих случайные амплитуды. Такая помеха обладает равномерным, теоретически неограниченным частотным спектром.

Мгновенные значения напряжения такой помехи изменяются по законам случайных величин и описываются

нормальным или гауссовским законом распределения; чем выше мгновенное напряжение помехи, тем меньше вероятность его появления.

В этом случае помехоустойчивость передачи сигнала может быть охарактеризована вероятностью $p\left(u_{\text{п}} \geqslant \frac{U_0}{2}\right)$ превышения мгновенными значениями напряжения помехи $u_{\text{п}}$ критического уровня $U_0/2$.

Зависимость этой вероятности от отношения среднеквадратичного напряжения помех $\overline{U}_{\text{п}}$ к амплитуде импульса $U_0$ представлена на рис. 6 *.

Следует иметь в виду, что поведение системы при воздействии помех существенно изменится, если приемник инерционен и реагирует на некоторое усредненное напряжение входа.

Таким образом, рассмотренные примеры подтверждают необходимость учета при оценке помехоустойчивости характера сигнала и помех, а также способа приема.

Заметим, что математический анализ помехоустойчивости представляет собой трудную задачу, аналитические решения которой получены лишь для нескольких наиболее характерных видов помех.

*Глава вторая*

# ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ

## 2-1. Непрерывные и дискретные сигналы

Телемеханические сообщения, как уже было сказано, могут быть как непрерывными, так и дискретными. В простейшем случае источник сообщений определяет и характер сигналов, используемых для передачи этих сообщений: дискретные сообщения передаются дискретными сигналами, а непрерывные сообщения — непрерывными сигналами. Однако непрерывные сообщения могут быть переданы

* Подсчет вероятности превышения критического уровня выполнен по формуле

$$p\left(u_{\text{п}} \geqslant \frac{U_0}{2}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\,\overline{U}_{\text{п}}} \int_{\frac{U_0}{2}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\frac{x^2}{\overline{U}_{\text{п}}^2}}\,dx.$$

и дискретными сигналами, для чего осуществляется квантование сообщений, т. е. непрерывный ряд значений физической величины заменяется ограниченным числом значений. Таким образом осуществляется переход к сообщениям *дискретным по параметру* (величине), которым отвечают также дискретные сигналы.

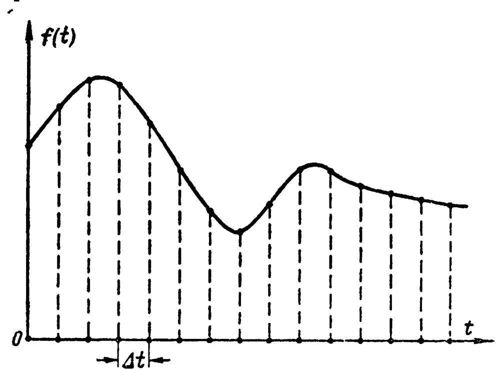



Рис. 7. Представление непрерывной функции дискретными по времени значениями.

Наряду с этим и не прибегая к квантованию можно осуществить переход от непрерывных сообщений к *дискретным по времени* сообщениям, т. е передавать сигналы не непрерывно, а через определенные интервалы времени. [1]

Доказано, что непрерывная функция времени, частотный спектр которой не содержит составляющих частот выше $F_m$, может быть полностью определена последовательностью ее значений, следующих через промежутки времени

$$\Delta t \leqslant \frac{1}{2F_m} \quad \text{(рис. 7).*}$$

Это выражение и определяет необходимую периодичность следования сигналов.

Очевидно, что такой способ передачи может быть применен и для квантованных сообщений.

*Непрерывные сигналы.* При передаче непрерывных сообщений непрерывными сигналами задача сводится к функ-

---

[1] Условимся, что далее понятия непрерывности или дискретности сигналов будут относиться к параметру сигнала; в тех случаях, когда речь будет идти о дискретности по времени, это будет оговариваться особо.

* Это положение впервые было установлено В. А. Котельниковым и известно как теорема Котельникова.

циональному преобразованию одной величины (параметра сообщения) в другую (параметр сигнала). Целью такого преобразования является замена параметра сообщения величиной, удобной для передачи по каналу связи и прежде всего наименее подверженной искажениям при изменении характеристик канала связи (главным образом — затухания) и при действии помех.

В простейших случаях в качестве параметра сигнала служит *величина тока или напряжения* в канале связи, а зависимость между параметром сообщения и величиной

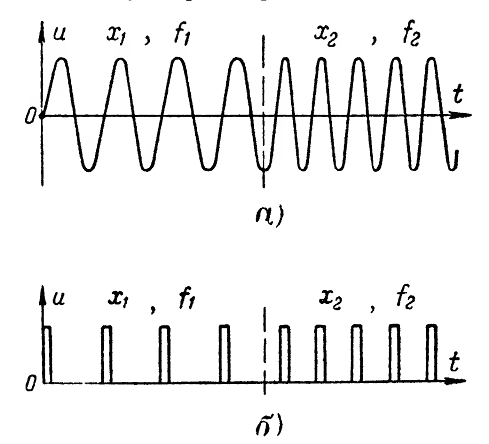



Рис. 8. Частотная модуляция.
*а* — синусоидальное напряжение; *б* — периодическая последовательность импульсов (частотно-импульсная модуляция).
$x_2 > x_1$; $f_2 > f_1$.

тока (напряжения) выбирается линейной. Так осуществляется, например, передача на малые расстояния значений различных электрических и неэлектрических величин.

В более сложных случаях, когда требования к стабильности параметра сигнала выше (например, при передаче результатов измерения по каналам связи с сильно меняющимся затуханием), изменяющимися параметрами сигнала являются *частота* или *время* (длительность). В первом случае (параметр сигнала — частота) применяют либо передачу синусоидального переменного тока, либо периодической последовательности импульсов; при этом частота колебаний или частота следования импульсов устанавливается в функциональной зависимости от параметра сообщения $f=\varphi(x)$ (рис. 8).

Во втором случае (параметр сигнала — время) функцией параметра сообщения является либо продолжительность посылки (ширина импульса), либо смещение во времени положения (фаза) импульса:

$$t_и = \varphi(x).$$

На рис. 9 представлены характерные виды сигналов с временным параметром.

В технике связи такого рода изменения параметра сигнала носят название *модуляции*. В первом случае имеет место *частотная модуляция* (собственно частотная модуляция—рис. 8,*а* и частотно-импульсная модуляция — рис. 8, *б*),

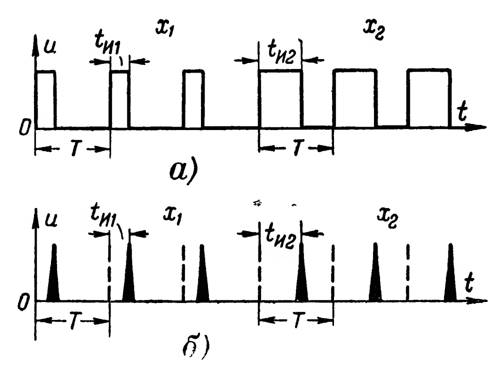



Рис. 9. Время-импульсная модуляция.
*а* — широтно-импульсная; *б* — фазо-импульсная.
$x_2 > x_1$; $t_{и2} > t_{и1}$.

во втором — *время-импульсная модуляция* (широтно-импульсная — рис. 9,*а* и фазо-импульсная модуляция — рис. 9,*б*).

Частотный спектр сигналов при этих видах модуляции теоретически неограничен (см. приложение 3), однако для правильного воспроизведения сигнала на приемном конце достаточно передать по каналу связи только составляющие спектра, занимающие определенную полосу частот. Ширина полосы частот выбирается такой, чтобы искажения сигнала в результате ограничения частотного спектра не вызывали при расшифровке сигнала погрешностей, превышающих допустимое значение. Например, для сигнала с временным параметром ограничение спектра передаваемых частот искажает форму принимаемого импульса и, что особенно существенно, крутизну его фронтов. Вследствие

этого возникает ошибка в отсчете длительности импульса. Поэтому ширина эффективно передаваемого частотного спектра должна выбираться по допустимой ошибке в отсчете длительности импульса.

*Дискретные сигналы.* Здесь рассматриваются сигналы, дискретные по параметру, т. е. рассчитанные на передачу конечного числа возможных сообщений. Как уже было сказано, такой способ передачи сигналов применяется как при дискретных сообщениях, так и при квантованных непрерывных сообщениях.

Задача сводится к тому, чтобы для ансамбля из $N$ сообщений сформировать такое же число различающихся друг от друга дискретных сигналов и придать каждый из этих сигналов определенному сообщению. Сигналы строятся в виде условных комбинаций электрических импульсов, которые носят название кодовых комбинаций или сокращенно *кодов.* Процесс преобразования сообщений в дискретные сигналы называется *кодированием.*

Для построения комбинаций применяются электрические импульсы, различающиеся по какому-либо одному или нескольким параметрам, называемым *импульсными признаками.* В качестве импульсных признаков применяют такие параметры, как величина, полярность (направление тока), время (продолжительность или фаза импульса), частота заполнения (рис. 10).

Для составления кодов используются импульсы с несколькими ($m$) значениями импульсных признаков. Следует заметить, что для четкости различения импульсных признаков используются большей частью только два ($m=2$) значения параметра (исключением является частота заполнения). Иногда для образования кодов вместо импульсов, различающихся по параметру, используется сам факт наличия или отсутствия импульсов ($m=2$).

Из соображений надежности в телемеханических системах применяются только *комплектные коды,* т. е. состоящие из постоянного ($n$) числа импульсов (элементов кода) в каждой комбинации.

Простейшей является система кодов, в которой используются все возможные сочетания из $n$ элементов кода с $m$ значениями импульсного признака.

При этом может быть получено общее число кодовых комбинаций (кодов):

$$N=m^n.$$

Наиболее часто применяются *двоичные коды*, т. е. коды с двумя значениями импульсного признака ($m=2$). В этом случае:

$$N=2^n.$$

Так, например, при построении кода из трех импульсов ($n=3$), различающихся полярностью ($m=2$), получаем

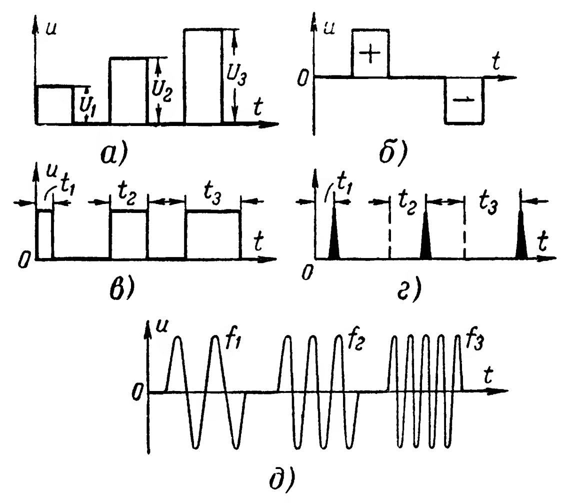



**Рис. 10. Импульсные признаки.**

*а* — величина; *б* — полярность; *в* — ширина (длительность) импульса; *г* — фаза импульса; *д* — частота заполнения импульса.

систему из $N=2^3=8$ кодов (табл. 1). Увеличивая число элементов кода до $n=5$, получаем $N=2^5=32$ кода.

Таблица 1

| Порядковый номер кода | Номер элемента кода | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 0 | — | — | — |
| 1 | — | — | + |
| 2 | — | + | — |
| 3 | — | + | + |
| 4 | + | — | — |
| 5 | + | — | + |
| 6 | + | + | — |
| 7 | + | + | + |

Таблица 2

| Порядковый номер кода | Числовая запись кода |
|---|---|
| 0 | 000 |
| 1 | 001 |
| 2 | 010 |
| 3 | 011 |
| 4 | 100 |
| 5 | 101 |
| 6 | 110 |
| 7 | 111 |

Комбинации элементов кода можно рассматривать как числа — порядковые номера кодов. Соответственно $m$ представляет собой основание числовой системы, а элементы кода — разряды числа (возрастают справа налево).

Система кодов с $m=2$ отвечает последовательности двоичных чисел (см. приложение 1). Действительно, если заменить знаки минус и плюс соответственно цифрами 0 и 1, то коды табл. 1 запишутся так, как показано в табл. 2.

В отличие от обычной записи двоичных чисел, отвечающих десятичным числам 0,1, ..., 7, слева от значащих цифр (коды 0, 1, 2, 3) здесь приписаны нули с тем, чтобы сделать коды комплектными ($n=3$).

## 2-2. Коды с повышенной помехоустойчивостью

Коды на все сочетания применяются в телемеханических системах лишь в тех случаях, когда требования к надежности передачи невысоки или если искажение одной кодовой комбинации не опасно. Это объясняется низкой помехоустойчивостью таких кодов. Действительно, рассматривая табл. 2, нетрудно установить, что искажение одного элемента любого из кодов всегда приводит к превращению этого кода в другой код данной таблицы. (Коды на все сочетания различаются друг от друга минимально всего лишь в одном элементе.) Например, если в коде № 3 правая единица в результате действия помехи будет принята как нуль, то искаженный код будет расшифрован, как код № 2.

Повышение помехоустойчивости может быть достигнуто выбором системы кодов, в которой путем наложения дополнительных ограничений на выбор комбинаций обеспечивается различие кодов не менее чем в двух или большем числе элементов. Нетрудно установить, что при этом для получения такого же числа кодов, что и в рассмотренном случае (при том же $N$), потребуется увеличить число элементов кода $n$.

Увеличение числа элементов будем оценивать коэффициентом избыточности

$$U=\frac{n-n_0}{n_0},$$

где $n_0$ — число элементов кода на все сочетания (в частном случае $m=2$ — двоичного кода).

Выбирая систему кодов с повышенной помехоустойчивостью, исходят из двух возможных способов защиты от выполнения искаженных кодов:

а) искаженный код не должен быть выполнен;

б) искаженный код должен быть скорректирован и исполнен как исходный (неискаженный) код.

Соответственно различают две разновидности помехозащищенных кодов:

а) коды с обнаружением искажений и

б) коды с коррекцией искажений.

*Коды с обнаружением искажений.* Простейшими из этой группы кодов являются коды, составленные по системе *«чет — нечет».*

Принцип такой системы заключается в том, что из таблицы двоичных кодов выбирают коды с нечетным (или четным) числом единиц, т. е. половину всех возможных кодов. Например, для получения восьми кодов с нечетным числом единиц теперь потребуется взять систему двоичных кодов с $n=4$ и выбирать из нее следующие коды:

1) 0001
2) 0010
3) 0100
4) 0111
5) 1000
6) 1011
7) 1101
8) 1110

Искажение одного из элементов кода (переход одной единицы в нуль или наоборот) всегда приводит к отклонению от системы, по которой составлены коды: искаженный код будет содержать четное число единиц. Такие коды в нашей таблице отсутствуют, и, следовательно, искаженный код не будет исполнен. Это обеспечивается багодаря тому, что каждый код отличается от любого другого не менее чем двумя элементами.

Общее число кодов здесь равно:

$$N=2^{n_0}=\frac{1}{2}\cdot 2^n=2^{n-1};\quad n=n_0+1.$$

Таким образом

$$U=\frac{n-n_0}{n_0}=\frac{(n_0+1)-n_0}{n_0}=\frac{1}{n_0}.$$

Для нашего примера ($N=8$)

$$n_0=3;\quad U=\frac{1}{3}.$$

Другая разновидность кодов с обнаружением искажений — *коды на одно сочетание*. Здесь коды построены по системе сочетания из $n$ элементов по $k$ единиц, т. е. каждый из кодов содержит одинаковое число единиц ($k$). Как и в предыдущем случае, коды различаются не менее, чем двумя элементами.

Общее число кодов этого типа

$$N = C_n^k = \frac{n!}{k!\,(n-k)!} = \frac{n\,(n-1)\,(n-2)\ldots(n-k+1)}{k!}.$$

Наибольшее число кодов для данного $n$ получаем при следующих оптимальных значениях $k$:

при четном $n$ с $k = \frac{n}{2}$;

при нечетном $n$ с $k = \frac{n \pm 1}{2}$.

По техническим причинам (из условий удобства построения дешифраторов) наиболее приемлемы коды с $k$ менее оптимального; особенно часто используются коды с $k = 2$.

Для примера ниже приводится таблица кодов типа $C_5^2$ $n = 5$; $k = 2$; $N = 10$):

1) 00011
2) 00101
3) 00110
4) 01001
5) 01010
6) 01100
7) 10001
8) 10010
9) 10100
10) 11000

В данном случае избыточность $U = \frac{5-4}{4} = \frac{1}{4}$, так как для составления десяти кодов на все сочетания требуется составить их из $n_0 = 4$ элементов.

Такая же избыточность получается для кодов «чет-нечет», хотя в общем случае избыточность для кодов на одно сочетание несколько выше, чем для кодов «чет-нечет».

Анализ помехоустойчивости этих двух типов кодов показывает, что при равной (полной) защищенности от искажений одного элемента коды на одно сочетание обладают большей помехоустойчивостью при искажении двух и более элементов.

В системах телеуправления используется также так

называемые *сменно-качественные коды,* т. е. коды с чередующимися значениями импульсного признака. Для построения таких кодов число значений импульсного признака $m$ должно быть не менее трех. Таблица кодов включает все возможные комбинации $n$ элементов кода, исключая комбинации с повторяющимися в соседних элементах кода значениями импульсного признака. Этому правилу, например, при $m=3$ (значения импульсного признака 0, 1 и 2) и $n=6$ отвечает код 012102.

Общее число кодов

$$N=m(m-1)^{n-1},$$

т. е. существенно меньше чем $m^n$.

Как нетрудно установить, у кодов такого вида обнаруживаются лишь те единичные искажения, в результате которых соседние импульсы получают одинаковые значения импульсного признака (например, при замене 1 на 0 или 2 во втором элементе кода 012102 получаются коды 002102 или 022102); другие искажения не обнаруживаются (в нашем случае например, при замене в третьем элементе кода 2 на 0 образуется код 010102, отвечающий закону построения сменно-качественных кодов). Таким образом, коды этого вида не обладают полной защищенностью от единичных искажений.

*Коды с коррекцией искажений.* Пусть в таблицу будут включены только такие коды, которые отличаются друг от друга не менее чем тремя элементами. Очевидно, что искажение двух элементов одного из кодов не приведет к образованию нового кода, совпадающего с каким-либо из кодов данной таблицы. Таким образом, искажение двух элементов кода будет обнаружено, и код не будет исполнен.

Вместе с тем при искажении одного элемента какого-либо из кодов всегда можно определить, какой именно код был послан первоначально, так как код с искажением будет отличаться от остальных кодов таблицы не менее чем двумя элементами. Поэтому искаженный код может быть скорректирован.

Для примера рассмотрим систему пятиэлементных кодов ($n=5$), отличающихся друг от друга не менее чем тремя элементами:

1) 01001
2) 01110
3) 10010
4) 10101

Пусть принят код 01010. Последовательно сравнивая этот код с кодами таблицы, устанавливаем, что принятый код отличается от кода № 1 двумя элементами, от кода № 2 одним элементом, от кода № 3 двумя элементами, от кода № 4 пятью элементами. Следовательно, принят искаженный в одном элементе код № 2, и он может быть исполнен, как этот код.

Понятно, что при приеме кода, искаженного в двух элементах, установить первоначальный код, а следовательно скорректировать искажение, не удастся. Например, в результате искажения двух элементов в коде № 2 может быть получен код 01011, совпадающий с искаженным в одном элементе кодом № 1.

Вероятность искажения двух элементов кода значительно ниже, чем вероятность искажения одного элемента. В предельном случае она равна квадрату вероятности искажения одного элемента. Поэтому, если допустить маловероятное исполнение искаженного в двух элементах кода, можно корректировать единичное искажение кода.

Для выполнения коррекции единичного искажения достаточно построить цепи расшифровки кода таким образом, чтобы исполнительный элемент включался при приеме как неискаженного кода, так и его «кодов-спутников», т. е. семейства кодов, отличающихся от данного одним элементом.

Для нашей системы кодов «коды-спутники» даны в табл. 3.

Таблица 3

| Код | „Коды-спутники" | Код | „Коды-спутники" |
|---|---|---|---|
| 1) 01001 | 1а) 01000<br>1б) 01011<br>1в) 01101<br>1г) 00001<br>1д) 11001 | 3) 10010 | 3а) 10011<br>3б) 10000<br>3в) 10110<br>3г) 11010<br>3д) 00010 |
| 2) 01110 | 2а) 01111<br>2б) 01100<br>2в) 01010<br>2г) 00110<br>2д) 11110 | 4) 10101 | 4а) 10100<br>4б) 10111<br>4в) 10001<br>4г) 11101<br>4д) 00101 |

Новые свойства кодов были здесь, как и в остальных случаях, получены путем увеличения избыточности. Действительно, рассмотренная выше система кодов с коррекцией

содержит всего лишь четыре кода, тогда как при двоичной системе при равном числе элементов ($n=5$) было бы получено 32 кода.

При этом избыточность составит

$$U=\frac{n-n_0}{n_0}=\frac{5-2}{2}=1,5.$$

Путем дальнейшего увеличения избыточности могут быть составлены системы кодов с коррекцией двух и более искажений и обнаружением трех и более искажений.

## 2-3. Разделение элементов сигнала

Выше были рассмотрены способы построения сигналов из группы элементов, которым придаются различные импульсные признаки. При передаче сигналов необходимо отделить каждый элемент от соседнего, сохранив порядковые места элементов сигнала.

Используются три способа разделения элементов сигнала:

а) *электрическое* или кондуктивное разделение, при котором для передачи каждого элемента выделяется отдельная электрическая цепь;

б) *частотное* разделение, т. е. передача каждого элемента сигнала колебаниями определенной частоты;

в) *временнóе* разделение, при котором элементы сигнала передаются последовательно во времени (поочередно).

Упрощенные схемы на рис. 11 поясняют реализацию этих трех способов разделения элементов сигнала. Для наглядности взят случай, когда импульсные признаки не используются и их роль выполняет сам факт наличия (1) или отсутствия (0) импульса. Ключи *1К, 2К, ...* задают соответствующие элементы — импульсы сигнала, установленные на приемном конце линии связи реле *1Р*, *2Р*, ... фиксируют прием этих импульсов.

При электрическом разделении (рис. 11,*а*) применяется многопроводная линия связи, каждый из проводов которой закрепляется за определенным порядковым элементом — импульсом сигнала; число проводов линии (кроме общего провода) равно числу элементов сигнала $n$.

При *частотном* разделении (рис. 11,*б*) применяются генераторы синусоидальных колебаний $Г_1, Г_2, ..., Г_n$ с частотами $f_1$ $f_2$, ..., $f_n$ и пропускающие эти частоты полосовые фильтры *1ПФ*, *2ПФ*,... (фильтры передачи) и *1ПФ'*, *2ПФ'*,...

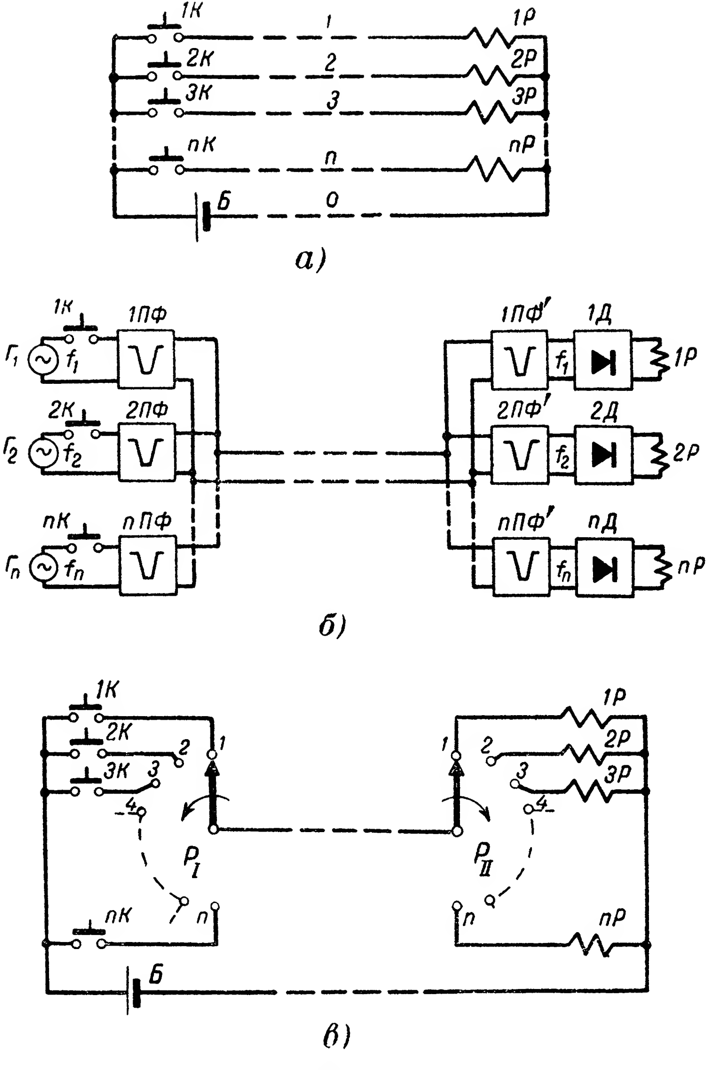



Рис. 11. Разделение элементов сигнала.
*а* — электрическое; *б* — частотное; *в* — временное.

(фильтры приема). С помощью фильтров колебания разных частот, соответствующих элементам сигнала, разделяются; реле *1Р, 2Р*... включены на выходе фильтров через детекторы *1Д, 2Д*, ...

*Временнóе* разделение (рис. 11,*в*) осуществляется с помощью синхронно переключающихся распределителей $P_I$ и $P_{II}$, при этом последовательно во времени образуются цепи для передачи элементов сигнала (*1К-1Р, 2К-2Р* и т д.).

На рис. 12 показаны диаграммы для систем частотного (*а*) и временного (*б*) разделения элементов сигнала.

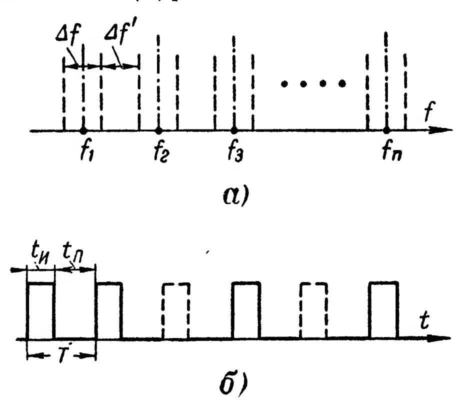



**Рис.** 12. Диаграммы для частотного (*а*) и временного (*б*) разделений.

Ширина полосы частот, пропускаемой фильтрами $\Delta f$ (рис. 12,*а*), выбирается в зависимости от требований к скорости нарастания сигнала за приемным фильтром. Время установления сигнала на выходе фильтра $\Delta t \approx \frac{1}{\Delta f}$.

Интервал частот между полосами пропускания двух фильтров $\Delta f'$ необходим для защиты от частичного проникновения сигнала соседнего генератора, поскольку фильтр за пределами полосы пропускания не обладает бесконечным затуханием. При временнóм разделении импульсы $t_и$ отделяются друг от друга защитными интервалами $t_п$. Это также необходимо для устранения взаимного влияния за счет попадания в реле соседнего канала «хвоста» импульса, задний фронт которого после прохождения по линии связи имеет экспоненциальную или близкую к экспоненте форму.

Очевидно, что частотное и временное разделение эквивалентны в отношении использования пропускной способности линии связи, если защитные интервалы (частотный и временной) имеют одинаковую относительную величину. О некоторых особенностях в применении того или иного способа разделения при построении телемеханических систем будет сказано ниже.

Синхронизация при временóм разделении. Для реализации временного разделения, как уже было сказано, необходимо осуществить синхронизацию переключения передающего и приемного распределителей.

Принципиально возможные способы синхронизации показаны на рис. 13 упрощенными схемами, на которых распределители для наглядности изображены в виде электромеханических контактных переключателей.

1) *Жесткая синхронизация.* Подвижные части распределителей жестко связаны друг с другом и приводятся в движение общим приводом (рис. 13,*а*). Очевидно, что для целей телемеханики такой способ непосредственно использован быть не может, так как распределители $P_{I}$ и $P_{II}$ находятся на разных концах линии связи.

Практически используется разновидность этого способа — *синхронизация общей сетью переменного тока* (рис. 13,*б*). В этом случае источником импульсов движения распределителей является общая сеть электроснабжения. Постоянная разность фаз питающих напряжений может быть скорректирована. Рассогласование положений распределителей в этом случае определяется только изменением разности фаз, вызванным переменным режимом нагрузки электроснабжающей сети.

2) *Циклическая синхронизация.* В этом случае распределители переключаются под действием самостоятельных генераторов—источников управляющих импульсов (рис 13,*в*), настроенных приблизительно на одинаковую частоту. Очевидно, что даже при очень точной настройке генераторов фазовая ошибка, а следовательно, и рассогласование положений распределителей со временем будут накапливаться. Для устранения рассогласования после каждого очередного цикла переключений производится синхронизация распределителей, т. е. совмещение их начальных положений и начальных фаз генераторов. Синхронизация осуществляется путем посылки специального импульса с передающей стороны. Естественно, что разность

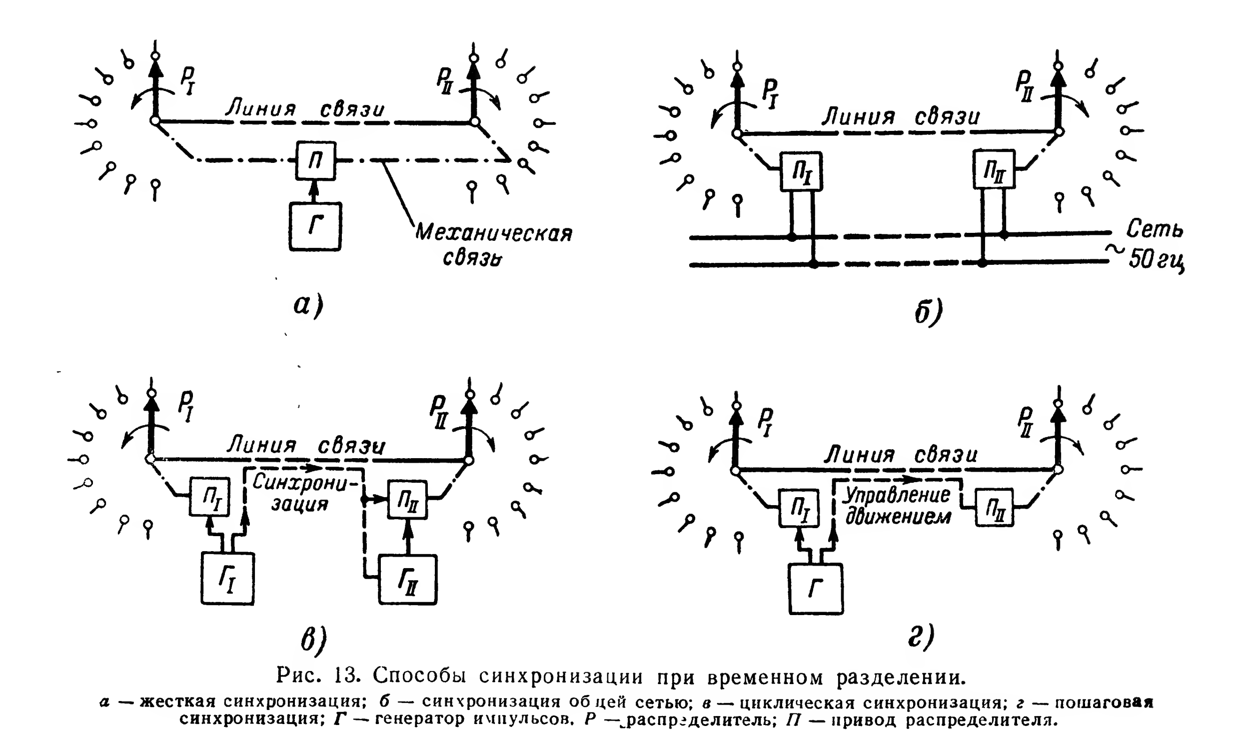



Рис. 13. Способы синхронизации при временном разделении.

*а* — жесткая синхронизация; *б* — синхронизация общей сетью; *в* — циклическая синхронизация; *г* — пошаговая синхронизация; *Г* — генератор импульсов, *Р* — распределитель; *П* — привод распределителя.

частот генераторов должна быть достаточно мала, чтобы за один цикл не накопилась недопустимая ошибка (рассогласование на один шаг или более).

3) *Пошаговая синхронизация.* При этом способе используется общий генератор импульсов, управляющий переключениями как местного распределителя, так и распределителя, установленного на противоположном конце линии связи (рис. 13,*г*). Таким образом, оба распределителя каждый шаг совершают одновременно (точнее — со сдвигом на время передачи импульса по каналу связи).

В принципе для передачи импульсов переключения требуется отдельный канал связи, но обычно передача импульсов сигнала и импульсов переключения совмещается путем модуляции импульсов переключения импульсными признаками сигнала.

*Глава третья*

# СИСТЕМЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

## 3-1. Общие сведения

Системы телеизмерения предназначены для передачи на расстояние значений контролируемых физических величин (показаний). Таким образом, здесь осуществляется передача непрерывных сообщений.

Сущность методов, применяемых при телеизмерении, заключается в том, что контролируемая величина для пере-




Рис. 14. Блок-схема телеизмерительной системы.
*1* — первичный преобразователь контролируемой величины; *2* — передатчик; *3* — приемник; *4* — выходной прибор.

дачи по каналу связи преобразуется в сигнал, искажения которого в процессе передачи должны быть минимальными. Сигналы могут быть либо непрерывными, либо дискретными.

На рис. 14 представлена блок-схема системы телеизмерения.

Обычно контролируемый параметр $x$ предварительно преобразуется (*1*) в промежуточный параметр $z$, а затем

с помощью передатчика *2* — в сигнал *y*. На приемной стороне системы связи сигнал поступает на вход приемника *3*, питающего выходной прибор *4*.

В системах телеизмерения с непрерывными сигналами передатчик *2* представляет собой функциональный преобразователь или модулятор, а в системах с дискретными сигналами — преобразователь промежуточного параметра *z* в код. Приемник, как правило, преобразует сигнал, поступающий с линии связи, в электрическую величину (ток или напряжение), измеряемую стрелочным или самопишущим прибором. При дискретных сигналах приемником является дешифратор кодов, выходной величиной служит ток или напряжение; в некоторых случаях показания воспроизводятся в цифровой форме.

## 3-2. Системы с непрерывными сигналами

Наиболее простыми в этой группе являются телеизмерительные *системы интенсивности*, т. е. системы, в которых в качестве параметра сигнала используется величина тока или напряжения (интенсивность сигнала).

Структура систем этого типа предельно проста: первичный преобразователь измеряемой величины в ток или напряжение непосредственно присоединяется к линии связи, на приемной стороне к линии подключается измеритель тока (обычно стрелочный или самопишущий миллиамперметр) или напряжения (например, автоматический потенциометр). Очевидно, что в таких системах изменение затухания линии вследствие нестабильности ее параметров неизбежно вызывает погрешности телеизмерения. Это ограничивает выбор типа канала связи системы телеизмерения, а также расстояние передачи.

Обычно необходимая точность телеизмерения (относительная погрешность в пределах 1,5—2,5%) обеспечивается только при использовании в качестве линии связи выделенных цепей кабелей связи длиной до 30—50 *км*. Воздушные линии связи вследствие значительной и непостоянной по величине проводимости изоляции («утечки») приемлемы лишь при малых расстояниях передачи — до 10 *км*.

Обычно системы интенсивности разделяют на *системы тока* и *системы напряжения*. Критерием для отнесения системы к одной из этих двух групп является соотношение между входным сопротивлением приемника $z_{пр}$ и входным сопротивлением линии $z_2$, измеренным на выходных зажи-

мах (с присоединенным передатчиком). Для системы тока $z_{пр} \ll z_2$, для систем напряжения $z_{пр} \gg z_2$. Передача, как правило, осуществляется постоянным током (постоянным напряжением).

Применяются три разновидности телеизмерительных систем интенсивности:

а) *Небалансная система тока* (рис. 15,*а*). Здесь применяется небалансный (без обратной связи) преобразователь измеряемой величины $x$ в ток $i$. Для ограничения погрешно-

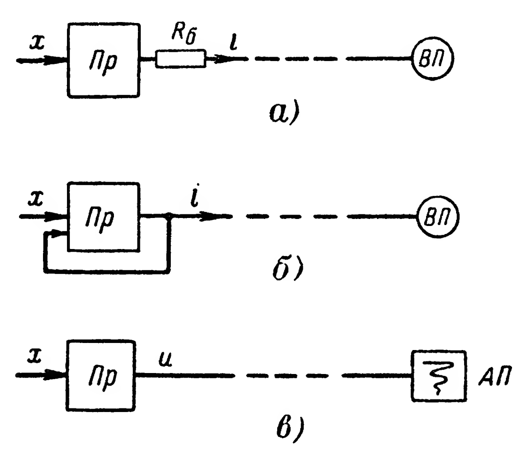



**Рис. 15. Блок-схемы телеизмерительных систем интенсивности.**

*а* — небалансная система тока; *б* — балансная система тока; *в* — потенциометрическая система напряжения; *Пр* — преобразователь; *ВП* — выходной прибор (миллиамперметр); *АП* — автоматический потенциометр.

стей от изменения сопротивления линии связи $r_л$ линия присоединяется к преобразователю через большое балластное сопротивление $R_б$ ($R_б \gg r_л$).

б) *Балансная система тока* (рис. 15,*б*). В такой системе применяется балансный преобразователь, т. е. преобразователь с отрицательной обратной связью по току выхода. В результате величина тока на выходе линии $i$ автоматически поддерживается в заданной зависимости от измеряемой величины $x$. Это устраняет зависимость тока в линии от изменения ее сопротивления. Погрешность от изменения утечки здесь, как и в предыдущей системе, не устраняется и не ограничивается.

в) *Потенциометрическая (уравновешенная) система напряжения* (рис. 15,*в*). Напряжение $U$, создаваемое преобразователем на передающей стороне, измеряется автоматическим потенциометром *АП*. В установившемся режиме входной ток автопотенциометра близок к нулю (не превышает тока нечувствительности прибора), т. е. входное сопротивление потенциометра весьма велико. Изменение сопротивления линии практически не сказывается на точности телеизмерения. Влияние проводимости изоляции заметно проявляется лишь при значительном сопротивлении линии.

Более широкую и универсальную по применению группу телеизмерительных систем с непрерывными сигналами составляют *импульсные и частотные системы.*

В системах этой группы сигнал формируется либо в виде периодических посылок импульсов, модулированных измеряемой величиной по длительности, фазе или частоте следования [1], либо в виде переменного тока, модулированного по частоте. Такой способ передачи сводит к минимуму погрешности телеизмерения от нестабильности параметров линии связи, обеспечивая возможность передачи на большие расстояния.

Дальность передачи здесь определяется уровнем сигнала, поступающего на вход приемника, чувствительностью приемника, т. е. минимальным уровнем сигнала, при котором сохраняется надежное действие приемника, и превышением на входе приемника уровня сигнала над уровнем помех. Величина этого превышения зависит как от характера и параметров сигнала, так и от частотного спектра помех и свойств приемника, определяющих его помехозащищенность. Другие ограничения, накладываемые характеристиками канала, будут выявлены при рассмотрении конкретных классов телеизмерительных систем.

К группе телеизмерительных *систем с временным параметром* относятся *время-импульсные системы* (с модуляцией по длительности) и *фазо-импульсные системы* (с модуляцией по фазе). Характеристики сигналов при указанных видах модуляции были рассмотрены выше (гл. 2). В обоих случаях устанавливается функциональная зависимость между измеряемой величиной $x$ и длительностью

---

[1] Амплитудная модуляция импульсов применяется только в сочетании с вторичной частотной модуляцией.

импульса $t_И$ (широтно-импульсные системы, рис. 9,*а*) или смещением фазы $t_И$ (фазо-импульсные системы, рис. 9,*б*):

$$t_И = \varphi(x).$$

В большинстве систем эта зависимость линейна:

$$t_И = t_0 + kx.$$

Время-импульсное преобразование осуществляется различными способами. В технике телеизмерения наибольшее распространение получили следующие способы время-импульсного преобразования:.

а) *Преобразование угла отклонения первичного измерительного прибора в длительность импульса.* Поясним этот метод на примере простейшей конструкции (рис. 16). Первичный измерительный прибор *ПИ* снабжается контактными устройствами. Неподвижный контакт *А* закреплен несколько левее начальной отметки шкалы, а контакт *В* — на стрелке прибора. Щеточный контакт *С* приводится во вращение маломощным синхронным двигателем. Промежуток времени между моментом касания вращающимся контактом *С* контактов *А* и *В* составляет:

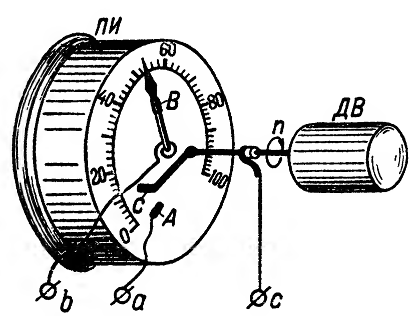



Рис. 16. Время-импульсный преобразователь угла отклонения первичного измерительного прибора.

*ПИ* — первичный измерительный прибор; *ДВ* — синхронный двигатель.

$$t = \frac{\alpha_0 + \alpha_И}{360° n},$$

где $\alpha_0$ — начальный угол (от контакта *А* до начальной отметки шкалы);

$\alpha_И$ — угол отклонения стрелки прибора;

$n$ — скорость вращения двигателя, *об/сек.*

Полученные при замыкании контактов кратковременные импульсы могут быть либо непосредственно использованы для передачи по фазо-импульсному методу, либо преобразованы в импульсы, модулированные по длительности (передача по широтно-импульсному методу).

Рассмотренный способ преобразования реализован в ряде конструкций медленнодействующих время-импульсных систем (период составляет 1; 5 или 15 *сек*).

б) *Способ развертывающего преобразования* (рис. 17). Измеряемая величина преобразуется в напряжение

$$u_1 = \varphi(x).$$

Развертывающее напряжение $u_2$ имеет пилообразную форму.

Напряжения $u_1$ и $u_2$ сравниваются, и моменты равенства напряжений отмечаются импульсами засечки ($m$, $n$). Интервал между этими импульсами засечки $t_И$ пропорционален напряжению $u_1$ (рис. 17,*б*). С помощью формирующей схемы

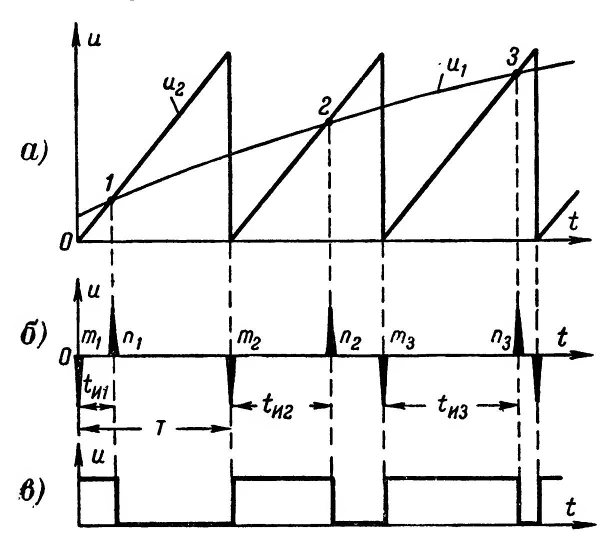



Рис. 17. Диаграмма развертывающего преобразования.

*а* — процесс уравновешивания; *б* — фазо-импульсный сигнал; *в* — время-импульсный сигнал.

релейного действия импульсы засечки могут быть преобразованы в импульсы длиной $t_И$ (рис. 17,*в*). Таким образом может быть осуществлена посылка сигналов как по фазоимпульсному методу, так и по широтно-импульсному.

Имеются и другие способы время-импульсного преобразования.

Обратное преобразование время-импульсного сигнала в показания, пропорциональные $t_и$, производится на приемной стороне либо с помощью электромеханического измерителя длительности импульса с синхронным приводом (медленнодействующие системы), либо путем измерения среднего тока (быстродействующие системы). В последнем случае через измерительный прибор, воспроизводящий показания, в течение времени $t_и$ пропускается стабилизированный ток $I_0$. При периодическом следовании импульсов с периодом $T$ средний ток в цепи прибора пропорционален $t_и$:

$$I_{ср} = I_0 \frac{t_и}{T}.$$

Переменная составляющая тока в цепи прибора отфильтровывается.

Точность время-импульсных систем в значительной степени зависит от максимальной частоты $F$, пропускаемой каналом связи. Это связано с искажением формы импульса при ограничении частотного спектра сигнала: с уменьше-

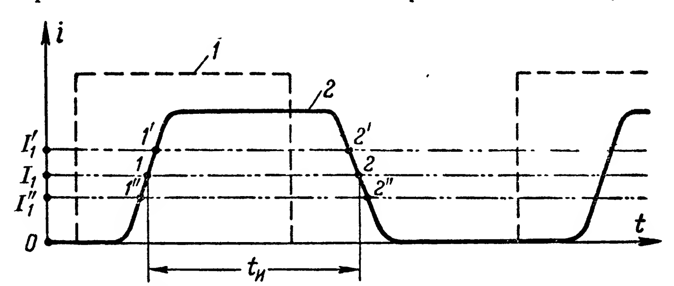



Рис. 18. Искажение формы импульса при передаче по каналу связи.

1 — импульсы на входе канала связи; 2 — импульсы на выходе канала связи.

нием полосы частот передний и задний фронты импульсов становятся более пологими (рис. 18). При этом ошибка в определении длительности импульса определяется как крутизной фронтов, так и уровнем $I_1$, на котором отсчитывается длительность импульса.

В первом приближении можно считать, что относительная погрешность телеизмерения $\delta$ связана с $F$ и $T$ следующей зависимостью:

$$\delta = \frac{0,1 \ldots 0,25}{TmF},$$

где

$$m = \frac{t_{Ин} - t_{И0}}{T};$$

$t_{И0}$ и $t_{Ин}$ — соответственно длительность импульса для нижнего и верхнего предела измеряемого параметра[1].

Заметим, что параметры $T$ и $F$ определяют также время установления показаний на выходе приемника $T_{уст}$.

Обычно в телеизмерении считают $T_{уст} = 5\tau$, где $\tau$ — постоянная времени приемника. На основании теоремы Котельникова

$$T \leqslant \frac{1}{2F}.$$

Приняв для приближенной оценки $F \approx \frac{1}{\tau}$, получим:

$$T = \frac{T_{уст}}{10}.$$

Воспользовавшись приведенной выше зависимостью погрешности $\delta$ от $T$ и $F$, находим:

$$T_{уст} = \frac{1 \dots 2{,}5}{Fm\delta}.$$

*Частотные системы.* Эта группа систем включает как *частотно-импульсные* системы, так и *собственно частотные* системы, т. е. такие, в которых сигнал имеет вид синусоидальных колебаний, модулированных измеряемым параметром по частоте.

Частота импульсов или частота переменного тока здесь является функцией измеряемой величины:

$$f = \varphi(x).$$

Частотно-импульсные системы обычно применяются только при частотах следования импульсов примерно до 20 *гц*; собственно частотные системы (переменного тока) используются на более высоких частотах — от десятков до тысяч герц. При этом в частотно-импульсных системах применяется модуляция частоты импульсов в широком

[1] Приведенная здесь зависимость получается элементарным путем из уравнения фронта импульса при полосе пропускания $F$ с учетом возможной нестабильности уровня отсчета $I_1$.

диапазоне — вплоть до $f_н/f_0=10$, где $f_0$ и $f_н$ — соответственно частоты, отвечающие нижнему и верхнему пределам измерения.

В частотных системах переменного тока, работающих на более высоких частотах, из соображений ограничения полосы рабочих частот частотный диапазон лежит в пределах

$$\frac{f_н}{f_0}=1{,}05\ldots 1{,}5.$$

Вследствие этого к стабильности частотных преобразователей предъявляются более высокие требования, так как с уменьшением отношения $k_f=f_н/f_0$ при заданной нестабильности частотного преобразования $\delta f=\frac{\Delta f}{f_н}$ относительная погрешность телеизмерения $\delta$ увеличивается:

$$\delta\leqslant\frac{\Delta f}{f_н-f_0}=\frac{k_f}{k_f-1}\,\delta f.$$

Получили распространение несколько способов частотного преобразования в передающих устройствах частотных систем.

а) *Преобразование угла отклонения первичного измерительного прибора в частоту с помощью C-, L- или R-датчика.* В этом случае подвижная часть первичного измерителя сочленяется с датчиком. Последний изменяет частоту генератора колебаний в зависимости от угла отклонения первичного измерителя.

Для примера на рис. 19,*а* показан такой преобразователь, состоящий из первичного измерительного прибора *ПИ* с емкостным датчиком $C_v$ и $RC$-генератора *Г*.

Частота генератора определяется формулой

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1(C_1+C_v)R_2C_2}}.$$

Если функция преобразования емкостного датчика линейна

$$C_v=C_{vн}-k_1a,$$

то результирующая функция частотного преобразования имеет следующий вид:

$$f = \frac{k_1}{\sqrt{k_2 - \alpha}}$$

($k_1$, $k_2$ — постоянные величины).

В случае применения датчика с нелинейной функцией преобразования зависимость $f = \varphi(\alpha)$ может быть сделана линейной.

б) *Управление настройкой генератора напряжением (током), функционально связанным с измеряемым параметром.* Этот способ применяется для управления как генера-

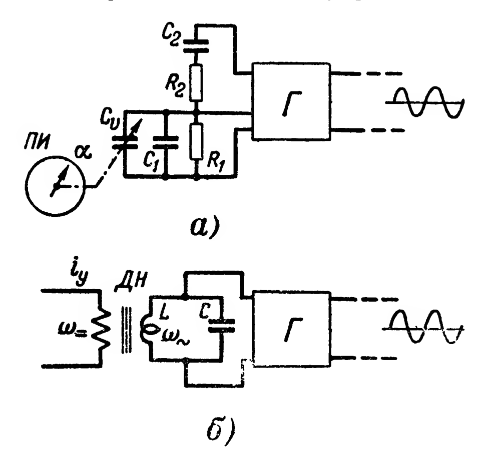



Рис. 19. Частотные преобразователи.
*а* — с первичным измерительным прибором (*ПИ*) и емкостным датчиком ($C_v$), *б* — с дросселем насыщения (*ДН*); *Г* — генератор синусоидальных колебаний.

торами синусоидальных колебаний, так и генераторами релаксационных колебаний.

Для управления частотой колебаний генератора синусоидальных колебаний (частотная модуляция) напряжение (ток) воздействует на нелинейный элемент частотного контура генератора, изменяя величину соответствующего параметра (индуктивность или емкость в $LC$-генераторе, активное сопротивление или емкость в $RC$-генераторе). Наибольшие трудности связаны здесь с обеспечением стабильной характеристики управления

В качестве примера на рис. 19,*б* показан *LC*-генератор, настройка которого осуществляется с помощью тока $i_у$ пропорционального измеряемой величине; ток $i_у$ изменяет эффективную индуктивность дросселя насыщения *ДН*. В рабочей части характеристики управления зависимость частоты от тока линейна:

$$f = f_0 + k i_у.$$

В генераторах релаксационных колебаний управление частотой колебаний с помощью напряжения осуществляется наиболее просто, но трудно получить стабильную характеристику управления.

в) *Балансные схемы.* Наряду с прямым управлением настройкой генератора, в телеизмерительных устройствах применяются частотные преобразователи по балансной схеме, т. е. схемы с отрицательной обратной связью по

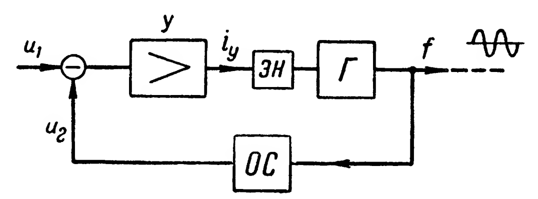



Рис. 20. Блок-схема балансного частотного преобразователя.

*Г* — генератор; *ЭН* — элемент настройки генератора; *У* — усилитель; *ОС* — узел обратной связи по частоте.

частоте. Такие схемы используются преимущественно при управлении напряжением или током. Обобщенная схема балансного частотного преобразователя представлена на рис. 20. Здесь преобразователь с управлением напряжением дополнен усилителем и узлом обратной связи.

На входе схемы действует напряжение $U_1$, пропорциональное измеряемой величине. Напряжение выхода преобразователя обратной связи $U_2$ пропорционально отклонению частоты $f$ от значения $f_1$, отвечающего нижнему пределу диапазона измерения,

$$U_2 = \beta (f - f_1).$$

Частота настройки генератора изменяется в линейной зависимости от усиленной разности напряжений $U_1 - U_2$:

$$f = f_1 + k (U_1 - U_2).$$

При этом частота настройки генератора подчиняется закону:

$$f = f_1 + \frac{k}{1 + k\beta} U_1.$$

Таким образом, преобразователь работает как следящая система, поддерживающая заданную зависимость между $f$ и $U_1$.

Стабилизирующее действие обратной связи проявляется в значительном уменьшении погрешности $\delta f_{(k)}$, вызванной нестабильностью настройки генератора:

$$\delta f_{(k)} = \frac{1}{1 + k\beta} \delta k$$

или

$$\delta f_k = S \delta k,$$

где $\delta k$ — относительное изменение коэффициента прямого преобразования;

$S = \frac{U_1 - U_2}{U_1}$ — статизм регулирования.

Обычно статизм лежит в пределах 0,01 ... 0,06 и, следовательно, стабилизация весьма эффективна.

Естественно, что, преобразователь обратной связи должен обладать высокой стабильностью. Наряду с выигрышем в стабильности балансные схемы обладают и другим существенным преимуществом: благодаря применению усилителя чувствительность к управляющему сигналу может быть существенно повышена.

Для приема и воспроизведения частотных сигналов в принципе может быть выбран любой из частотомеров, применяемых в измерительной технике. Однако наибольшее распространение получили специфические устройства, преобразующие частотный сигнал в постоянный ток.

К их числу относятся прежде всего *преобразователи с реактивными накопителями энергии.*

Принцип такого рода преобразователей заключается в том, что в течение периода сигнала (в некоторых схемах — дважды за период) через выходную цепь пропускается вполне определенный электрический заряд $q_0$, определяемый количеством энергии, запасенной накопителем (емкостью, индуктивностью).

В результате периодического следования сигналов с частотой $f$ в выходной цепи устанавливается периодический ток, среднее значение которого

$$I_{ср}=q_0 f,$$

т. е. пропорционально частоте сигнала. Следует оговориться, что вследствие неполной завершенности переходных процессов эта зависимость является приближенной.

Чаще других встречаются преобразователи с емкостным накопителем, представляющие собой разновидность частотомерной схемы Максвелла.

Преобразователи этой группы применяются как в частотно-импульсных, так и в собственно частотных системах телеизмерения.

Рис. 21. Блок-схема балансного приемника частотной системы.

*ЧД* — частотный детектор; *ЭН* — элемент настройки частотного детектора; *У* — усилитель; *ВП* — выходной прибор.

Вторая распространенная группа преобразователей — *балансные преобразователи* с настраиваемым частотным детектором (рис. 21).

Частотный детектор *ЧД* (выявитель изменений частоты) настраивается на некоторую частоту $f_д$. Напряжение на выходе частотного детектора равно нулю, если $f=f_д$; при отклонении $f$ от $f_д$ на выходе *ЧД* возникает напряжение небаланса $\Delta U$, в первом приближении пропорциональное $\Delta f=f-f_д$. Напряжение небаланса усиливается (*У*), ток на выходе усилителя $I$ протекает по цепи выходного прибора *ВП*. Вместе с тем вводится отрицательная обратная связь по току выхода: в зависимости от величины тока $I$ изменяется настройка чатотного детектора, так как ток $I$ воздействует на элемент настройки *ЭН* частотного детектора.

Полагая все преобразования линейными, получаем следующие зависимости:

$$I=k'\Delta U=k(f-f_д);$$

$$f_д=f_1+\beta I,$$

где $f_1$ — начальная частота диапазона. Отсюда

$$I=\frac{k}{1+k\beta}(f-f_1).$$

Таким образом, преобразователь действует как следящая система, поддерживающая заданную зависимость между $f$ и $I$.

Введение отрицательной обратной связи обеспечивает высокую стабильность преобразования при малом статизме $\left(\text{здесь } S=\frac{f-f_д}{f}\right)$. Вместе с тем наличие усилителя обеспечивает достаточно большую мощность на выходе.

Приемники частотных систем, как правило, снабжаются ограничителем на входе. Это исключает паразитную амплитудную модуляцию сигнала, поступающего на частотный преобразователь приемника, и помехоустойчивость системы увеличивается.

## 3-3. Системы с дискретными сигналами

Переход от непрерывного сообщения к дискретному сигналу, как уже было указано выше, заключается в квантовании сообщения и кодировании сообщения тем или иным способом. При этом процесс квантования сводится к замене непрерывного ряда значений измеряемого параметра $0\ldots x_н$ или $x_1\ldots x_н$ конечным числом значений, отличающихся друг от друга на $\Delta x$ (как правило, $\Delta x$ постоянно). Выбор шага квантования $\Delta x$ зависит от требуемой точности телеизмерения:

$$\frac{\Delta x}{x_н - x_1}\leqslant\delta_{доп}$$

($\delta_{доп}$ — допускаемая относительная погрешность телеизмерения).

Передача телеизмерения осуществляется путем посылки кодов, присвоенных квантованным значениям параметра. Общее число кодов

$$N=\frac{x_н - x_1}{\Delta x}.$$

За исключением немногих случаев, когда требование помехоустойчивости является определяющим, используются незащищенные коды: двоичный, двоично-десятичный и рефлексный код (код Грея).

Двоичные коды были разобраны выше достаточно подробно. При *двоично-десятичном* коде (разновидность двоичного кода) каждый из десятичных разрядов отдельно кодируется по двоичной системе. Для этого каждый десятичный разряд кодируемого числа представляется в виде четырехэлементных кодов, с помощью которых могут быть записаны числа от 0 до 9. Например, число 75 изображается кодом 0111-0101; первые четыре элемента кода представляют двоичное число, отвечающее десятичному числу 7, а второе — 5.

Такой способ кодирования создает некоторую избыточность: если при двоичных кодах на каждый десятичный разряд приходится в среднем три элемента кода, то здесь число элементов кода на десятичный разряд увеличивается до четырех. Однако удобство перевода двоично-десятичных сигналов в десятичные заставляет мириться с небольшой избыточностью.

Таблица 4

| Десятичное число | Двоичный код | Рефлексный код (код Грея) |
|---|---|---|
| 0 | 000 | 000 |
| 1 | 001 | 001 |
| 2 | 010 | 011 |
| 3 | 011 | 010 |
| 4 | 100 | 110 |
| 5 | 101 | 111 |
| 6 | 110 | 101 |
| 7 | 111 | 100 |

*Рефлексный* код отличается от двоичного тем, что при переходе к следующему коду (в порядке возрастания чисел) изменяется только один элемент кода. Как будет показано далее, это оказывается ценным свойством для некоторых способов преобразования параметра в код.

Для примера в табл. 4 приводятся трехэлементные двоичные коды и рефлексные коды для чисел от 0 до 7.

При двоичной системе кодирования общее число кодов $N=2^n$, что соответствует передаче чисел от 0 до $2^n-1$ ($n$—число элементов кода). Соответственно погрешность телеизмерения, вызванная дискретным представлением измеряемой величины, составляет:

$$\delta_д \leqslant \pm \frac{1}{2}\frac{1}{N-1} = \pm \frac{1}{2(2^n-1)}.$$

Например, при 7 элементах кода

$$\delta_д \leqslant \pm \frac{1}{2(2^7-1)} \approx \pm 0{,}4\%.$$

При двоично-десятичных кодах связь между числом элементов кода и погрешностью $\delta_д$:

$$\delta_д \leqslant \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10^D}$$

($D$ — число десятичных разрядов кодируемого числа). Так как каждый десятичный разряд представляется четырьмя элементами кода, то

$$\delta_д \leqslant \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10^{\frac{n}{4}}}$$

($n$ всегда кратно четырем).

Если применяется временное разделение импульсов кода, то, так же как для время-импульсных систем, может быть установлена зависимость между временем установления показаний $T_{уст}$, максимальной частотой $F$, пропускаемой каналом связи, и погрешностью $\delta_д$.

Как и в предыдущем случае, принимаем

$$T_{уст} = 10T_к,$$

где $T_к$ — длительность одного кода.

Полагая, что импульсы кода длительностью $t_И$ разделяются интервалами такой же длины, и не учитывая вспомогательных элементов кода (например, синхронизирующего импульса или интервалов, отделяющих один код от другого), получим:

$$T_к = 2nt_И.$$

Вместе с тем для передачи импульса длительностью $t_И$ требуется полоса частот $F \approx \frac{1}{t_И}$. Следовательно,

$$T_{уст} \approx 20\frac{n}{F}.$$

Используя зависимость $\delta_д$ от $n$, получим:

а) для двоичных кодов

$$T_{уст} \approx 20\frac{\log_2\left(\frac{1}{2\delta_д} + 1\right)}{F};$$

б) для двоично-десятичных кодов

$$T_{\text{уст}} \approx 80 \frac{\log_{10} \frac{1}{2\delta_{\text{д}}}}{F}.$$

*Преобразователи непрерывной величины в код.* Принципиально различаются два способа дискретного преобразования: а) измеряемая величина преобразуется в угол отклонения измерительного прибора, а угол отклонения — в код; б) осуществляется преобразование в код тока или напряжения, эквивалентного измеряемой величине. Как будет показано дальше, второй способ более универсален и гибок, хотя и требует применения относительно сложных преобразователей.

а) *Преобразование угла отклонения в код.* Для этой цели используются так называемые кодирующие диски. На концентрических окружностях диска (по числу элементов кода) выполнены контактные дуги, чередующиеся в порядке следования единиц в каждом разряде при последовательном увеличении номера кода. Либо диск, либо съемное устройство перемещается с помощью измерительного механизма. Таким образом, каждому углу отклонения измерительного механизма отвечает необходимый набор элементов кода.

Для примера на рис. 22,*а* показана схема кодирующего диска для пятиэлементного двоичного кода.

Существенным недостатком диска является возможность ошибки в формировании кода на границе перехода от одного кода к другому, так как при этом сформированный код может содержать несколько разрядов, принадлежащих одному коду, и несколько разрядов, соседнего кода. Например, на границе между кодами 01111 (в десятичной системе — 15) и 10000 (в десятичной системе—16) могут быть ошибочно образованы любые сочетания из элементов этих двух кодов (граница отмечена на рис. 22,*а* звездочкой). В лучшем случае искаженный код будет отличаться на единицу от одного из исходных: 01110 (14) или 10001 (17); наибольшая ошибка будет получена при формировании кодов 11111 (31) и 00000 (0).

Стремление исключить возможность больших ошибок и привело к созданию рефлексных кодов (кодов Грея). Кодирующий диск для формирования кодов Грея показан на рис. 22,*б*. Поскольку граничащие коды отличаются здесь

только в одном элементе, ошибка не превышает шага квантования.

Кодирующий диск может быть использован и для формирования двоично-десятичных кодов. Кодирующие диски выполняются как с контактным съемом, так и с бесконтактным (например, фотоэлектрическим).

Очевидный недостаток преобразователей с кодирующим диском — малое быстродействие, ограничиваемое временем успокоения измерительного прибора. При многоканальном

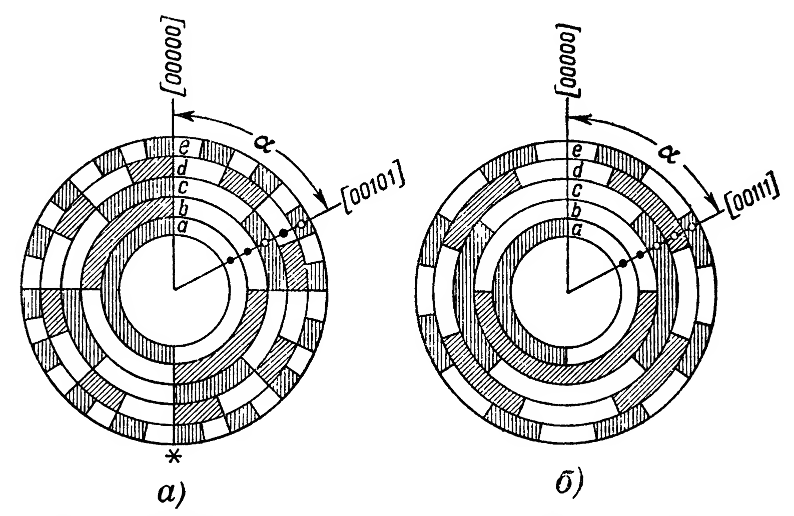



Рис. 22. Преобразователь угла поворота в код с кодирующим диском.
*а* — для двоичного кода; *б* — для кода Грея.

исполнении телеизмерительной системы преобразователем должен быть снабжен каждый прибор-датчик.

б) *Преобразование напряжения или тока в код.* Разработано значительное число способов осуществления такого преобразования. Здесь будут рассмотрены только наиболее характерные, применяемые в телеизмерительной технике. К их числу относится прежде всего способ преобразования по схеме: напряжение — время — число — код. Сущность этого способа заключается в следующем.

С помощью время-импульсного преобразователя кодируемое напряжение $u$ преобразуется в импульс длительностью $t_и$. В течение времени $t_и$ производится подсчет числа импульсов, создаваемых генератором стабильной частоты $f$

Сосчитанное число импульсов, пропорциональное $t_И$, а следовательно и $u$, переводится в двоичную или двоично-десятичную систему.

На рис. 23 представлена блок-схема такого преобразователя. Время-импульсный преобразователь *ВИП* обычно выполняется на принципе развертывающего преобразования.

Аналогичным образом может быть построен и преобразователь по схеме: напряжение — частота — число — код. В этом случае частота импульсов меняется

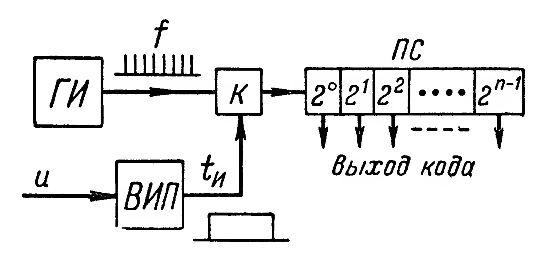



Рис. 23. Блок-схема кодирующего преобразователя счетного типа с промежуточным время-импульсным преобразованием.

*ГИ* — генератор счетных импульсов; *ВИП* — время-импульсный преобразователь; *К* — ключ; *ПС* — пересчетная схема.

в линейной зависимости от входного напряжения, а период счета импульсов постоянен.

Применяются также *преобразователи с обратной связью*, основанные на уравновешивании входного напряжения напряжением, пропорциональным сформированному коду. Из преобразователей этой группы наиболее распространены преобразователи с уравновешиванием ступенчато-возрастающим напряжением или, как их принято называть, преобразователи по методу „взвешивания“[1]. Кодируемое напряжение сравнивают с суммой ступеней уравновешивающего напряжения $2^{n-1}\Delta u$, $2^{n-2}\Delta u$, ..., $2^1 \Delta u$, $2^0\Delta u$, набираемой последовательно в порядке убывания степеней числа 2. При этом $u_у = \Delta u \sum_{i=0}^{n-1} l_i 2^i$ ($l = 1$ или 0).

[1] Такое название основано на сходстве процесса уравновешивания напряжений с уравновешиванием взвешиваемого груза с помощью гирь: гири подбирают в порядке убывания их весов.

Очередная ступень включается в сумму при условии, что уравновешивающее напряжение не превышает входного напряжения. Каждой ступени, включенной в сумму, отвечает единица в данном разряде формируемого кода. Характерно, что передача кода с разделением импульсов во времени может осуществляться в процессе кодирования (набора уравновешивающего напряжения), тогда как

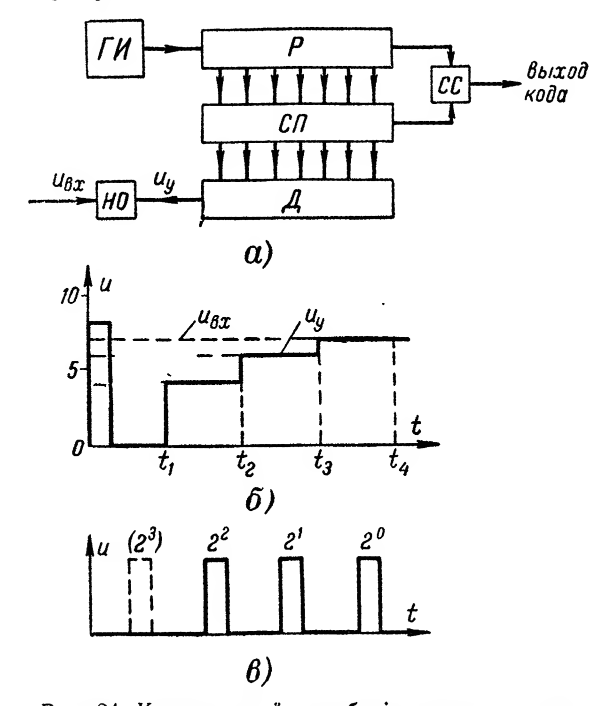



Рис. 24. Кодирующий преобразователь по методу „взвешивания".

*а* — блок-схема; *б* — диаграмма процесса кодирования; *в* — диаграмма сигнала в канале связи.

в предыдущем случае передача кода возможна только по окончании процесса кодирования.

Принцип реализации преобразователя поясняет блок-схема на рис. 24, *а*. Генератор тактовых импульсов *ГИ* управляет распределителем *Р*. Последний поочередно включает ячейки схемы памяти *СП*. Схема памяти воздействует на дешифратор *Д*, формирующий ступени уравновешивающего напряжения $u_у$. Принцип действия деши-

фратора будет пояснен позднее. Напряжения $u_{вх}$ и $u_у$ сравниваются нуль-органом *НО*. Очередная ячейка памяти, а следовательно, и ступень уравновешивающего напряжения остаются включенными, если $u_{вх} \geqslant u_у$; при $u_{вх} < u_у$ нуль-орган отключает включенную на данном шаге распределителя ячейку памяти. Если ячейка памяти осталась включенной, то схема совпадения *СС* выдает импульс очередного разряда кода.

Для примера на рис. 24, *б* и *в* даны графики процесса кодирования ($u_{вх} = 7$) при четырехразрядном коде и выходной сигнал.

Другая разновидность преобразователя с обратной связью построена на счетно-импульсном принципе (рис. 25).

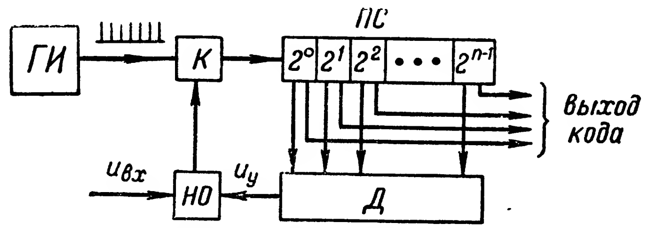



Рис. 25. Блок-схема кодирующего преобразователя счетно-импульсного типа с обратной связью.
*ГИ* — генератор счетных импульсов; *К* — ключ; *ПС* — пересчетная схема; *Д* — дешифратор; *НО* — нуль-орган.

Здесь на пересчетную схему *ПС* поступают импульсы, посылаемые генератором *ГИ*. Пересчетная схема строится по двоичной (или двоично-десятичной) системе. Выходы пересчетной схемы управляют дешифратором, ступени которого вырабатывают напряжения, пропорциональные разрядам двоичного числа сосчитанных импульсов. Суммарное напряжение дешифратора $u_у$ сравнивается нуль-органом *НО* с входным напряжением $u_{вх}$. Когда напряжение $u_у$ возрастает до величины $u_{вх}$, нуль-орган отключает ключ *К*, прекращая счет импульсов. Таким образом, пересчетная схема остается в положении, соответствующем числовому значению $u_{вх}$. Код снимается с ячеек пересчетной схемы после окончания процесса кодирования.

*Декодирование.* Способ декодирования зависит от выбранной формы воспроизведения показаний: аналоговой

или цифровой. При аналоговой форме воспроизведения показаний код преобразуется в непрерывную электрическую величину (ток или напряжение), измеряемую выходным прибором.

При цифровом воспроизведении показаний световые или электромеханические индикаторы непосредственно фиксируют числовое значение измеряемого параметра, представленное кодом. Отсчет показаний в двоичной или двоично-десятичной форме затруднителен, так как, во-первых, эти системы счисления для нас непривычны, а, во-вторых, число разрядов этих систем счисления в 3—4 раза больше, чем при десятичном счислении. Поэтому обычно при декодировании переходят к десятичной системе.

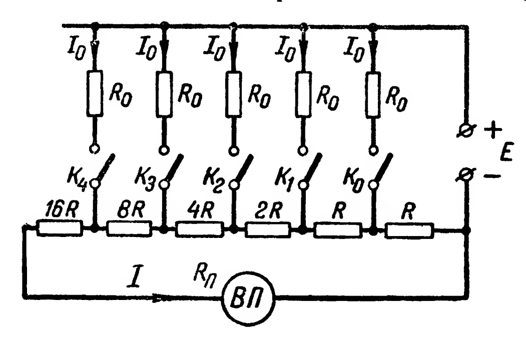



Рис. 26. Схема аналогового дешифратора.

а) *Преобразователь кода в аналоговую форму* (аналоговый дешифратор). Наиболее употребителен преобразователь на принципе суммирования токов (рис. 26). Здесь в виде ключей $K_0 \dots K_4$ изображены коммутирующие элементы (обычно бесконтактные), замыкающие цепи при приеме соответствующих разрядов кода (в данном случае— двоичного — $2^0$, $2^1, \dots,$ $2^4$). При соблюдении условия $R_0 \gg R \gg R_П$ результирующий ток равен сумме составляющих, пропорциональных разрядам кода,

$$I = \frac{E}{2^n R_0} \sum_{i=0}^{n-1=4} l_i 2^i \quad (l = 1 \text{ или } 0).$$

Имеются и другие аналоговые дешифраторы.

Аналоговые дешифраторы такого типа применяются

также в цепях обратной связи преобразователей кодирующих устройств, разобранных выше.

б) *Декодирующее устройство для перевода двоично-десятичного кода в десятичную форму* (цифровой дешифратор). Такое устройство применяется при цифровом воспроизведении показаний. Простейшая схема цифрового дешифратора для одного десятичного разряда, построенная на электромагнитных реле, приведена на рис. 27,*а*. Каждому двоичному коду здесь отвечает один из десяти выходов.

Аналогичное назначение имеет и схема в виде диодной матрицы с четырьмя входами, ($2^3, 2^2, 2^1, 2^0$) и десятью выходами (0, 1 ... 9). Такая схема показана на рис. 27,*б*.

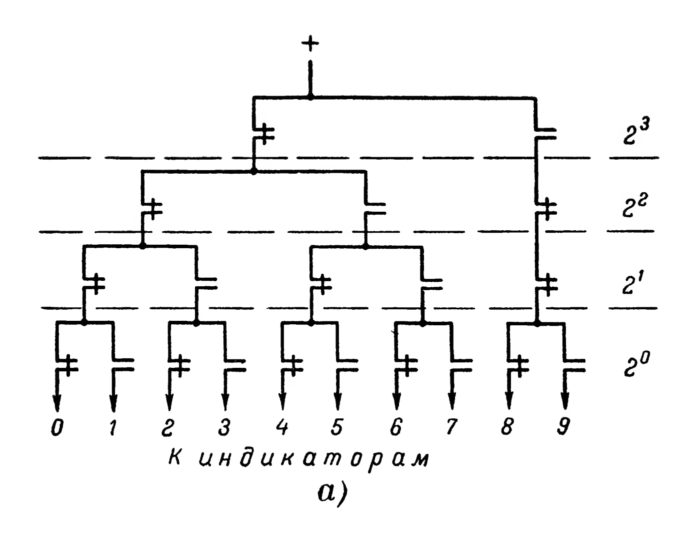
Здесь в цепи выходов (вертикальные шинки) включены большие сопротивления $R$. При отсутствии управляющего потенциала на горизонтальной шинке диоды, связывающие эту горизонтальную шинку с вертикальными, открыты, и через небольшое сопротивление $r \ll R$ соответствующие вертикальные шинки соединены с минусом источника питания, так что на выходах напряжение близко к нулю. При подаче управляющего потенциала все эти диоды запираются. Если диоды, соединенные с данной вертикальной шинкой, заперты, то на выходе возникает рабочее напряжение.

Как нетрудно проследить по схеме, напряжения на выходах возникают при приеме кодов с соответствующими числовыми значениями (0000 — выход 0; 0001 — выход 1; 0010 — выход 2 и т. д.).

Следует заметить, что перевод в десятичную форму двоичного кода не может быть выполнен столь просто. Это и заставляет отдать предпочтение двоично-десятичному коду.

Для цифровой индикации сейчас разработаны специальные многоэлектродные газонаполненные лампы, в которых при подключении одного из катодов освещается соответствующая цифра (рис. 28).

При воспроизведении как в цифровой, так и в аналоговой форме приемное устройство обладает свойством «памяти» — при отсутствии сигналов сохраняются показания, отвечающие ранее принятому коду; показания изменяются только при приходе кода, отличающегося от предыдущего. Это свойство оказывается весьма полезным для повышения помехоустойчивости телеизмерительной системы, и вместе с тем позволяет осуществить циклическую



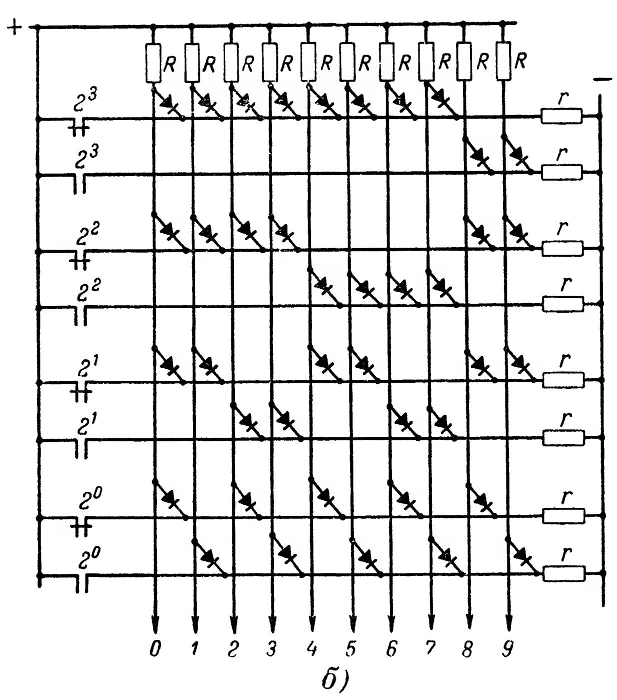




Рис. 27. Дешифраторы двоично-десятичного кода.
*а* — контактный; *б* — матричный.

497—9

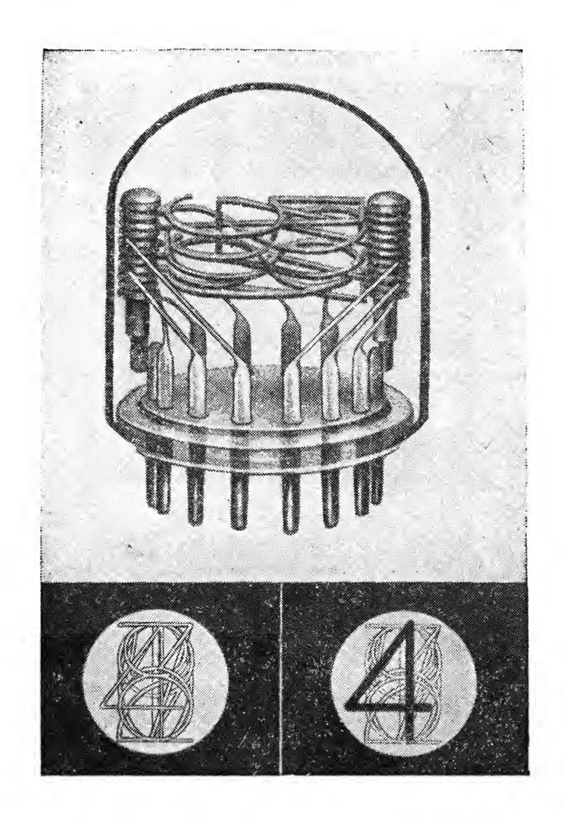


Рис. 28. Цифровая газонаполненная лампа.

передачу со значительным интервалом между сигналами, повышая эффективность передачи информации.

### 3-4. Многоканальные системы

Нередко необходимо передавать из одного пункта значения нескольких контролируемых параметров. В этом случае может оказаться целесообразным объединить все необходимые блоки приема и передачи в единую многоканальную телеизмерительную систему, обслуживающую всю группу контролируемых параметров.

Многоканальные телеизмерительные системы выполняются на принципах как частотного, так и временного разделения сигналов.

При *частотном разделении* применяется группа несущих частот $f_1, ..., f_n$ (по числу контролируемых параметров), которая выделяется с помощью полосовых фильтров $Ф_1, ..., Ф_n$ (рис. 29). Передатчики телеизмерения модулируют генераторы несущих частот $Г_1, ..., Г_n$. На приемной стороне модулированные колебания детектируются и поступают на входы приемников телеизмерения соответствующих каналов.

Общая ширина полосы частот многоканальной системы равна сумме полос частот, отводимых для передачи каждо-

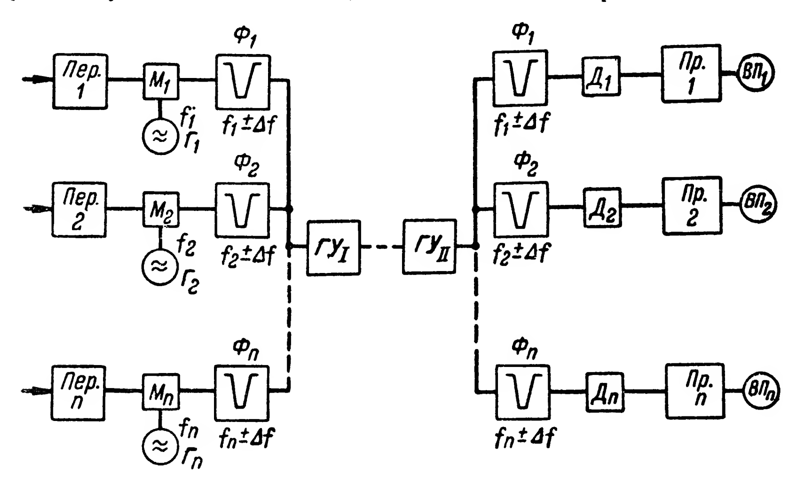



Рис. 29. Блок-схема многоканальной телеизмерительной системы с частотным разделением.

$Г_1, Г_2, ..., Г_n$ — генераторы несущих частот; $Ф_1, Ф_2, ..., Ф_n$ — полосовые фильтры; $М_1, М_2, ..., М_n$ — модуляторы; $Д_1, Д_2 ..., Д_n$ — демодуляторы; $ГУ_I, ГУ_{II}$ — групповые усилители; $Пер_1, Пер_2, ..., Пер_n$ — передатчики телеизмерений; $Пр_1, Пр_2, ..., Пр_n$—приемники телеизмерений; $ВП_1, ВП_2, ...$, $ВП_n$ — выходные приборы.

го сигнала (в зависимости от частотного спектра сигнала, определяемого видом модуляции и скоростью изменения контролируемого параметра), плюс защитные полосы между рабочими диапазонами частот каналов, необходимые для устранения взаимного влияния каналов.

Как показывает схема рис. 29, в многоканальной системе с частотным разделением собственно телеизмерительные устройства идентичны применяемым в одноканальных системах. Таким образом, многоканальное исполнение относится к аппаратуре системы связи

Число каналов ограничивается, в частности, помехами от перекрестных искажений. Последние возникают при наличии в тракте передачи нелинейных элементов. В результате создаются колебания, которые, кроме несущих частот $f_1, f_2, f_3, \ldots$ и их боковых частот, содержат гармоники несущих частот $nf_1$, $nf_2$, $nf_3, \ldots$ и боковых частот и, кроме того, линейные комбинации частот типа $k_1f_1 \pm k_2f_2 \pm k_3f_3 \pm \ldots$, где $k_1$, $k_2$, $k_3, \ldots$ — целые числа. С увеличением числа несущих частот быстро растет число комбинационных частот, что увеличивает вероятность попадания перекрестных помех в рабочие полосы частот отдельных каналов. Тем не менее удается выполнить многоканальные системы с частотным разделением на 12 и даже более каналов.

В системах с *временным разделением* применяется коммутация каналов синхронно переключающимися распределителями. В промышленных телеизмерительных системах, рассчитываемых на длительную работу, применяются, как правило, бесконтактные распределители. Обычно осуществляется циклическая синхронизация распределителей. В принципе возможны две схемы построения системы. В первом случае (рис. 30,*а*) коммутируются входные сигналы, что позволяет использовать один общий модулятор. Во втором случае (рис. 30,*б*) применяются индивидуальные модуляторы, коммутируются сигналы на выходе модуляторов. Аналогичным образом приемное устройство может быть построено либо с общим детектором (демодулятором) (рис. 30,*а*), либо с индивидуальными демодуляторами (рис 30,*б*).

Хотя устройства по схеме рис. 30,*а* содержат значительно меньше преобразователей (модуляторов, демодуляторов), ее реализация связана с трудностями, так как необходима бесконтактная коммутация сигналов постоянного тока.

Наиболее удачно в многоканальных системах с временным разделением применяются широтно-импульсная и фазоимпульсная модуляции, а также передача кодированных сигналов. Частотный метод используется относительно реже, причем с соблюдением условия $F \ll \frac{1}{T_к}$, где $F$ частота сигнала, а $T_к$ — промежуток времени, отводимый на передачу по одному каналу.

На рис. 31 для примера представлены сигналы четырехканальной системы с время-импульсной модуляцией. Для синхронизации здесь используется импульс $t_с$, отличаю-

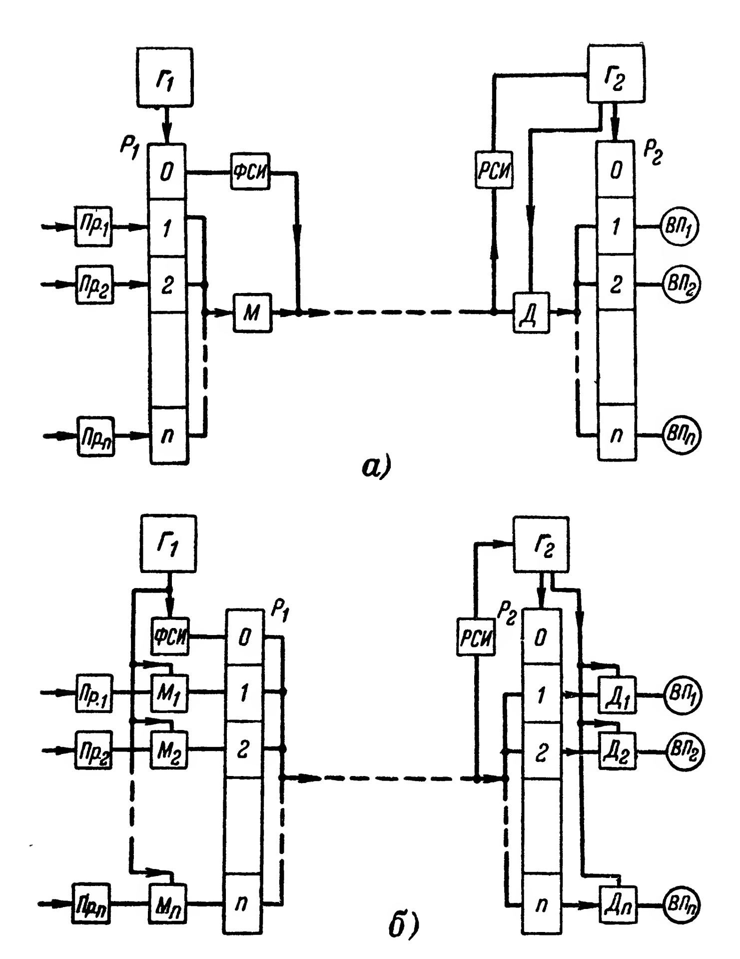



Рис. 30. Блок-схемы многоканальных телеизмерительных систем с временным разделением.

*а* — система с общим модулятором и демодулятором; *б* — система с индивидуальными модуляторами и демодуляторами; *Г*₁, *Г*₂ — генераторы тактовой частоты; *P*₁, *P*₂ — распределители; *М* — модуляторы; *Д* — демодуляторы; *ФСИ* — формирователь синхронизирующего импульса; *РСИ* — различитель синхронизирующего импульса; *Пр* — первичные преобразователи; *ВП* — выходные приборы.

щийся от измерительных импульсов большей длительностью.

Многоканальные телеизмерительные системы с временным разделением обладают некоторыми преимуществами по сравнению с системами с частотным разделением. Суще-

ственно, что по линии одновременно передается только один сигнал, в котором и сосредоточивается вся передаваемая энергия. Это увеличивает отношение напряжения сигнала к напряжению помехи при ограниченной мощности передачи (обычно это ограничение устанавливается из условия допустимого влияния на соседние линии связи). По той же причине отсутствуют и перекрестные искажения от комбинационных частот, характерные для

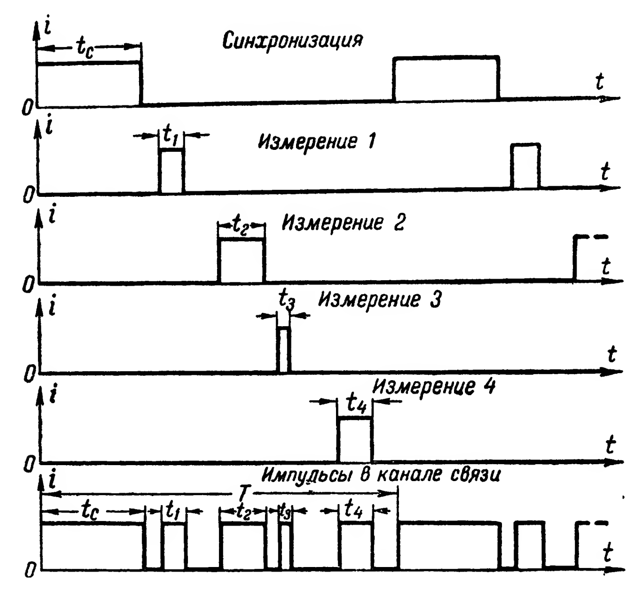



Рис. 31. Диаграмма сигналов четырехканальной системы с временным разделением и время-импульсной модуляцией.

частотного разделения. Отсутствие частотных фильтров значительно упрощает конструирование аппаратуры.

Существенно также значительное сокращение числа индивидуальных блоков (в особенности при реализации схемы на рис. 30,*а*), хотя эта особенность заметно сказывается при числе контролируемых параметров не менее 4—7.

Наряду с отмеченными преимуществами, системы с временным разделением обладают и недостатками. Прежде всего к ним относится усложнение схемы системы за счет распределителей и узлов синхронизации. Взаимное влияние соседних каналов не может быть полностью исключе-

но. Надежность систем с временным разделением несколько ниже, чем систем с частотным разделением, так как первые содержат больше общих узлов, а при повреждении любого общего узла прекращается работа всей системы.

Поэтому при выборе способа разделения нужно учитывать конкретные условия выполнения и эксплуатации телеизмерительной системы.

*Глава четвертая*

# СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИИ

## 4-1. Общие сведения

Системы телеуправления и телесигнализации, как уже было пояснено выше, осуществляют передачу дискретных сообщений: команд управления производственными установками и извещений об изменениях в режиме работы этих установок [1]. Как при телеуправлении, так и при телесигнализации задача сводится к формированию, передаче и расшифровке ограниченного числа дискретных сигналов, отвечающих командам и извещениям. В силу этого методы построения систем телеуправления и телесигнализации аналогичны. Более того, обычно функции телеуправления и телесигнализации выполняются общими установками. Поэтому в дальнейшем системы телеуправления и телесигнализации будут рассматриваться обобщенно, с выделением лишь элементов, специфических для телеуправления или телесигнализации.

В общем случае система телеуправления и телесигнализации может быть представлена блок-схемой рис. 32.

Посылка команд с пункта управления (*ПУ*) осуществляется воздействием (вручную или от соответствующего датчика) на индивидуальные командные элементы (блок *1*). Блок формирования командного сигнала *2* формирует сигнал, посылаемый по каналу связи на исполнительный пункт (*ИП*). Здесь сигнал расшифровывается избирательным устройством *3*, в результате чего срабатывает инди-

[1] Значительно реже (в основном при управлении движущимися объектами) осуществляется передача непрерывных команд (сообщений). По способу передачи сигналов такие системы сходны с системами телеизмерения.

видуальный элемент исполнения данной команды (блок *4*). Последний воздействует на соответствующий исполнительный орган *5* объекта управления и контроля (включает или отключает исполнительный механизм, изменяет его положение и т. д.).

Изменения режима объекта (изменение состояния оборудования, достижение предельных значений контролируемыми параметрами и т. п.), в том числе и являющиеся результатом исполнения команды, фиксируются на *ИП* датчиками сигнализации *6* (блок-контактами механизмов,

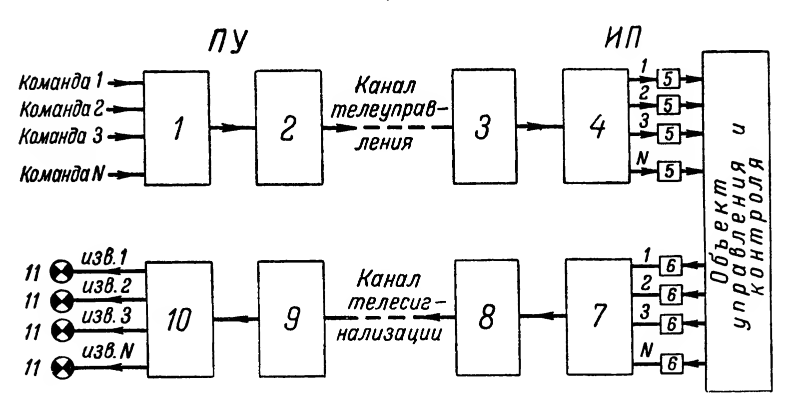



Рис. 32. Обобщенная блок-схема системы телеуправления и телесигнализации.

*1* — индивидуальные командные элементы; *2* — формирователь командного сигнала; *3* — избирательное устройство; *4* — индивидуальные элементы исполнения команд; *5* — исполнительные органы; *6* — датчики сигнализациии; *7* — индивидуальные элементы сигнализации; *8* — формирователь известительного сигнала; *9* — избирательное устройство; *10* — индивидуальные исполнительные элементы сигнализации; *11* — индикаторы сигнализации.

контактными измерительными датчиками и т. п.). Датчик сигнализации включает соответствующий индивидуальный элемент сигнализации (блок *7*). В результате блок формирования известительного сигнала *8* формирует сигнал и посылает его по каналу связи на *ПУ*. На *ПУ* принятый сигнал расшифровывается избирательным устройством *9*, после чего срабатывает соответствующий данному извещению исполнительный элемент сигнализации *10* и включает индикатор сигнализации *11* (обычно сигнальную лампу).

Как при телеуправлении, так и при телесигнализации основными функциями системы являются: формирование сигналов, число которых равно числу сообщений, передача сигнала по каналу связи и расшифровка сигнала с целью

включения исполнительного элемента, отвечающего посланному сигналу; последняя операция носит название избирания.

Различают два способа формирования и избирания сигнала:

1) каждый из $n$ элементов сигнала используется для передачи одного из $m$ сообщений ($m$ — число значений импульсного признака). При этом в каждом сигнале может быть передано $n$ независимых сообщений, а общее число возможных сообщений составляет:

$$N = mn.$$

2) Сигналы формируются путем комбинирования всех $n$ элементов сигнала при $m$ значениях импульсного признака; т. е. применяется кодирование сообщений. При этом совокупность всех $n$ элементов сигнала используется для передачи одного сообщения. Общее число возможных сообщений $N = \varphi(n, m)$ является функцией выбранного способа кодирования. При первом случае формирования сигнала система телеуправления является многоканальной ($n$-канальной), а во втором — одноканальной.

Избирание при первом способе формирования сигнала будем называть *прямым*, а при втором способе — комбинационным или *кодовым*.

В дополнение к рассмотренным способам избирания часто применяется *групповой выбор*. При этом объекты телеуправления и телесигнализации подразделяются на группы и операция избирания разбивается на две части: а) выбор группы, к которой принадлежит данный объект, и б) выбор объекта в группе. Иногда число ступеней увеличивают, например возможен трехступенчатый выбор: *группа — подгруппа — объект*.

В случае прямого избирания групповой выбор обеспечивает сокращение числа элементов сигнала, а следовательно сокращает избыточность.

Пусть $N$ объектов разбиты на $g$ групп. Тогда общее число элементов сигнала

$$n = n_1 + n_2 = g + \frac{N}{g} < N,$$

где $n_1$ — число элементов выбора группы;

$n_2$ — число элементов выбора объекта в группе.

Минимальное число элементов сигнала получается при

$$n_1 = n_2 \approx \sqrt{N},$$

т. е.

$$n_1 = n_2 = \frac{n}{2}.$$

При многоступенчатом выборе ($l$ ступеней), это условие принимает вид:

$$n_1 = n_2 = \ldots = n_l \approx \sqrt[l]{N},$$

т. е.

$$n_1 = n_2 = \ldots = n_l = \frac{n}{l}.$$

При комбинационном избирании групповой выбор не приводит к сокращению числа элементов сигнала, а для некоторых видов кодов, напротив, удлиняет сигнал. В подобных случаях групповой выбор применяется только из конструктивно-схемных соображений.

Дальнейшая классификация систем телеуправления производится по способам разделения элементов сигнала и системам кордирования.

## 4-2. Некоторые важнейшие узлы и блоки устройств телеуправления

К основным функциональным узлам и блокам устройств телеуправления могут быть отнесены следующие:

1. Формирователи импульсных признаков.
2. Различители импульсных признаков.
3. Шифраторы } применяются в системах с комбинационным избиранием.
4. Дешифраторы }
5. Генераторы импульсов } применяются в системах с временным разделением.
6. Распределители }
7. Частотные избиратели — применяются в системах с частотным разделением.
8. Пусковые узлы — применяются в системах эпизодического действия.
9. Выходные блоки управления и сигнализации.

Из этого перечня рассмотрим, как наиболее характерные и специфичные для устройств телеуправления, шифраторы, дешифраторы и распределители.

*Шифраторы.* На рис. 33,*а*, представлена обычная схема шифратора двоичного кода с многоконтактными кодирующими ключами. Схема построена для трехэлементного кода

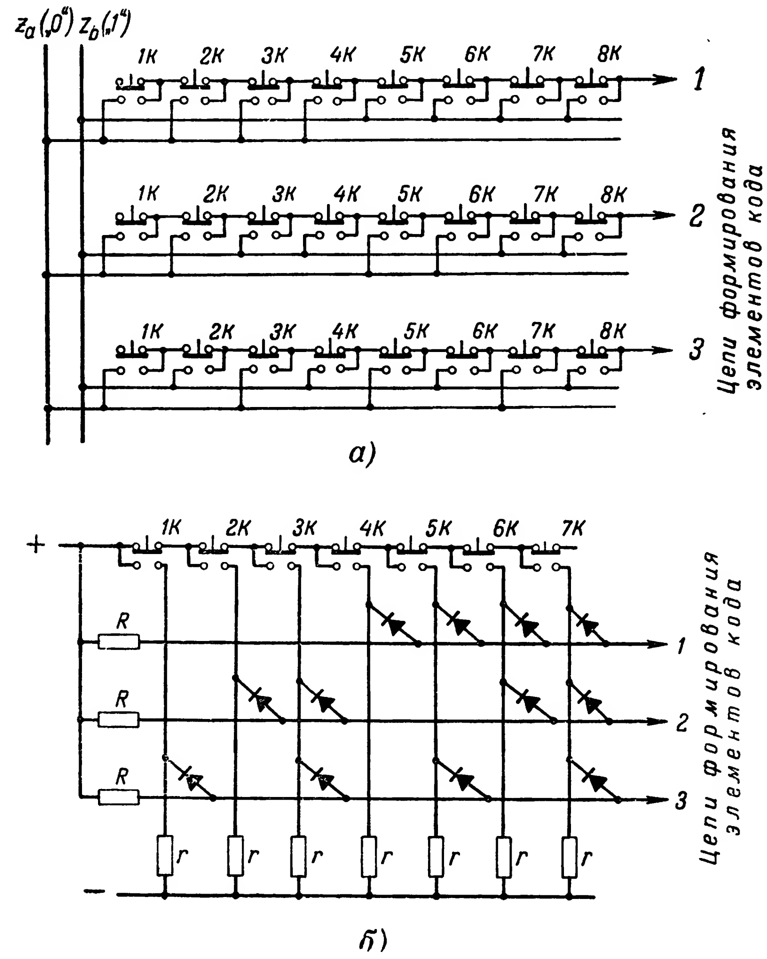



Рис. 33. Схемы шифраторов двоичного кода.

*а* — с многоконтактными кодирующими ключами; *б* — с диодами.

($n=3$; $N=8$). Шинки $z_a$ и $z_b$ образуют цепи формирования значений импульсного признака «0» и «1». При нажатии одного из ключей на выходе шифратора образуются цепи формирования импульсов кода, отвечающие порядко-

вому номеру кодирующего ключа (*1К*—000, *2К*—001, *3К*—010 и т. д.).

В некоторых случаях для уменьшения числа контактов у ключей применяются шифраторные схемы с диодами. Пример такой схемы для формирования двоичного кода с передачей сигнала по принципу наличия или отсутствия импульса представлен на рис. 33, *б* (комбинация 000 для передачи сигнала не используется). В этой схеме $R \gg r$.

Аналогичным образом строятся шифраторы и для кодов других типов.

*Дешифраторы.* Наиболее распространены дешифраторы на электромагнитных реле. При кодах с $m=2$ для каждого элемента сигнала используются по два реле, фиксирующих значение импульсного признака. Контакты фиксирующих реле образуют дешифраторную схему. Простейшая дешифраторная схема для трехэлементного двоичного кода приведена на рис. 34,*а*. Индексы фиксирующих реле соответствуют следующей системе: первая цифра указывает номер элемента кода, а вторая — значение импульсного признака (0,1). Так, например, реле 3-го импульса, фиксирующего «0», обозначается 30, а реле этого же импульса, фиксирующее «1» — 31.

В бесконтактных устройствах телеуправления часто применяются диодные дешифраторные схемы на принципе схем совпадения с двумя и более входами. Принцип их действия уже был рассмотрен в § 3-3. На рис. 34,*б* показана в качестве примера бесконтактная дешифраторная схема для кода на одно сочетание типа $C_5^2$ $(N=10)$.

Фиксирующие элементы изображены здесь условно в виде контактов реле 11, 21, ..., 51, замыкающихся при приеме «единицы» на соответствущем элементе кода. В действительности напряжение на горизонтальные шинки подается бесконтактными фиксирующими элементами. Каждая выходная цепь содержит диодную схему совпадения с двумя входами. Сопротивления схемы выбраны из условия $R \gg r$. При приходе двух «единиц» на выходе сответствующей схемы совпадения возникает напряжение, так как оба диода запираются, например, при срабатывании реле *51* и *41* возникает напряжение на выходе *1*.

*Распределители.* В устройствах телеуправления на релейно-контактной аппаратуре распределителями служат либо телефонные шаговые искатели — переключатели с шаговым электромагнитным приводом, либо релейные рас-

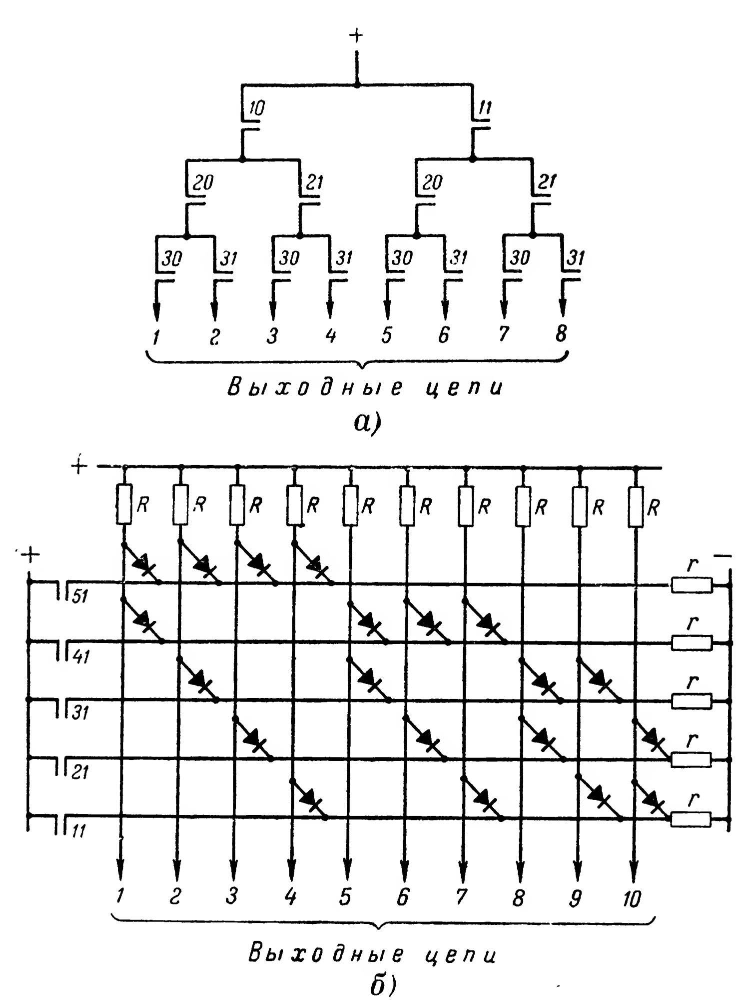



Рис. 34. Схемы дешифраторов.

*а* — релейно-контактный дешифратор двоичных кодов; *б* — диодный матричный дешифратор кодов типа $C_5^2$.

пределители. Последние представляют собой счетные схемы из реле.

Применяются две разновидности релейных распределителей: двухтактные и однотактные. Первые отсчитывают как импульсы, так и интервалы (паузы) между ними, вторые отсчитывают только импульсы (или только паузы).

На рис. 35,*а* показана схема двухтактного релейного распределителя. В этой схеме при периодическом переключении контактов управляющего реле *П* (т. е. как при срабатывании, так и при отпускании реле) происходит поочередное включение следующего по порядку реле-счетчика *С* и отключение предыдущего. Контакты реле *С* переключают соответствующие цепи передачи или приема сигналов (рис. 35,*б*).

Однотактный распределитель (рис. 35,*в*) выполнен по более сложной схеме. Цепи реле-счетчиков *С* разделены на нечетные и четные. Разделение осуществляется с помощью двухобмоточного реле (обмотки обзначены $P_{I}$ и $P_{II}$). Реле *Р* работает через два такта: включено во время нечетного импульса и следующей за ним паузы и отключено на четных импульсе и паузе. Благодаря такому построению схемы очередное реле *С* срабатывает на паузе после отсчитываемого импульса и отключает предыдущее. Таким образом, реле *С* включаются поочередно в порядке их номеров. Число переключаемых цепей равно числу отсчитываемых импульсов.

Из числа *бесконтактных распределителей* рассмотрим схему на электромагнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса. Такие схемы, как и релейные, строятся как однотактными, так и двухтактными. На рис. 36,*а* представлена схема однотактного распределителя, аналогичного по функциям релейному по схеме рис. 35,*а*.

Сердечники электромагнитных элементов 1, 2, ..., *n* выполнены из пермаллоя или феррита, обладающего петлей гистерезиса, близкой по форме к прямоугольной (рис. 36,*в*). Такой элемент представляет собой пассивную ячейку памяти с устойчивыми состояниями «0» ($-B_r$) и «1» ($+B_r$). При перемагничивании сердечника (перевод из состояния «1» в «0» отрицательным магнитным полем или наоборт) на выходной обмотке возникает кратковременный импульс напряжения. При действии положительного намагничивающего поля на сердечник, находящийся в состоянии «1», сердечник сохраняет свое состояние а в выходной обмотке индуктируется небольшой импульс помехи, обусловленный неидеальной прямоугольностью петли гистерезиса.

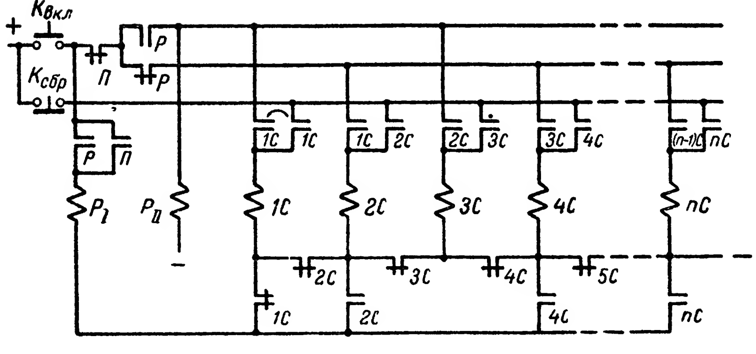
Перевод сердечника из состояния «0» в «1» обычно называют «подготовкой» сердечника, а перемагничивание из «1» в «0»—«считыванием».

а)

1 2 3 4 5

Переключаемые цепи

б)




в)

Рис. 35. Схемы релейных распределителей.

*а* — двухтактная схема; *б* — выходные цепи; *в* — однотактная схема.

Принцип действия схемы на рис. 36,*а* следующий: каждый сердечник имеет четыре обмотки: обмотку подготовки $w_1$, обмотку считывания $w_2$, обмотку переноса $w_3$ и выходную обмотку $w_4$. В исходном положении все сердечники, кроме первого, находятся в состоянии «0». Первый сердечник подготавливается (переводится в «1») кратковременным нажатием кнопки $K_1$. Затем переключатель $K_2$

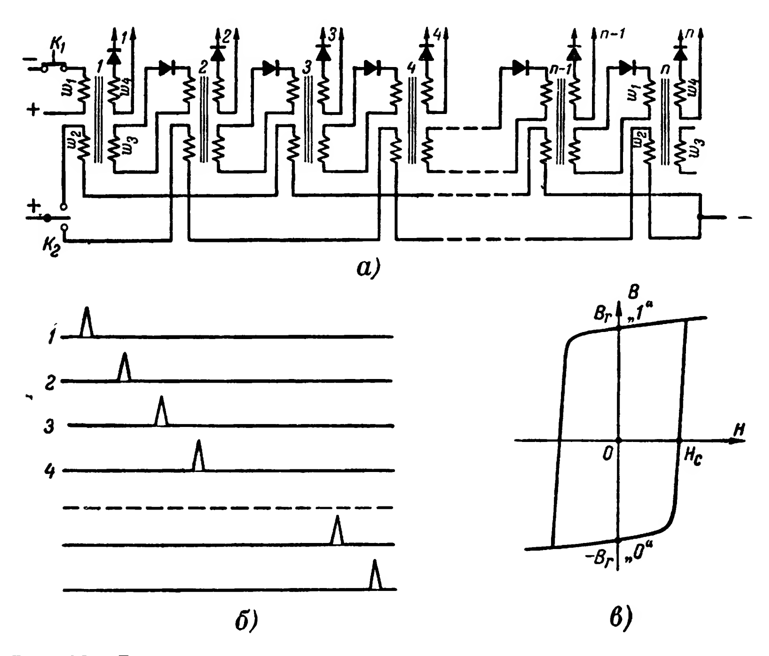



**Рис. 36. Бесконтактный распределитель на электромагнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса.**

*а* — принципиальная схема; *б* — диаграмма импульсов в выходных цепях; *в* — кривая намагничивания сердечника.

переводится в верхнее положение и по всем обмоткам нечетных сердечников пропускается считывающий импульс. Однако подготовлен был только сердечник *1*; он перемагничивается и в обмотке $w_4$ возникает выходной импульс. Одновременно от обмотки $w_3$ сердечника *1* получает импульс подготовки обмотка $w_1$ сердечника *2*, в результате чего последний переходит в состояние «1».

При переводе $K_2$ в нижнее положение сердечник *2* перемагничивается, т. е. переводится в состояние «0», на его обмотке $w_4$ возникает импульс, а сердечник *3* подготавли-

вается. При повторных манипуляциях с ключом $K_2$ аналогичным образом происходит подготовка и считывание у всех остальных сердечников, и на их обмотках $w_4$ возникают выходные импульсы (рис. 36,*б*). Если обмотку $w_3$ сердечника *n* соединить с обмоткой $w_1$ сердечника *1*, то распределитель будет непрерывно работать по схеме замкнутого кольца.

В реальных схемах условно изображенные на рис. 36,*а* ключи $K_1$ и $K_2$ отсутствуют, а управление распределителем осуществляется от бесконтактных элементов.

На подобном принципе построены и однотактные распределители.

## 4-3. Системы с электрическим разделением (многопроводные)

Многопроводные системы телеуправления и телесигнализации представляют собой улучшенные системы дистанционного управления. Обычно они выполняются с прямым избиранием. Для сокращения числа соединительных проводов при заданном числе команд и извещений применяется несколько (2—4) значений импульсного признака. Наиболее употребительные импульсные признаки — полярность ($m=2$) и величина («амплитуда»). Для последнего признака обычно выбирают также $m=2$. Используя одновременно как полярный, так и амплитудный признаки, можно увеличить общее число значений импульсного признака до $m=4$.

Пример схемы линейных цепей такой системы показан на рис. 37. Схема построена применительно к телеуправлению и телесигнализации двухпозиционных объектов. Телесигнализация положения объекта осуществляется меньшим током, чем телеуправление. Для этого в цепь реле сигнализации положения объекта (*СО*, *СВ*) введено большое добавочное сопротивление $R_0$. Положение объекта контролируется блок-контактами *1В*, *2В*, ... Для посылки команды путем замыкания контактов ключа *КУ* катушка реле и добавочное сопротивление шунтируются малым сопротивлением $R_ш$ ($R_ш \ll R_0 + R_р$, где $R_р$ — сопротивление обмотки реле) и ток в линии увеличивается. Реле управления (*УВ*, *УО*) срабатывают только при большем токе. Цепи управления и сигнализации противоположных позиций («включить—отключить» и «отключено—включено») питаются полуволнами разных знаков выпрямленного пере-

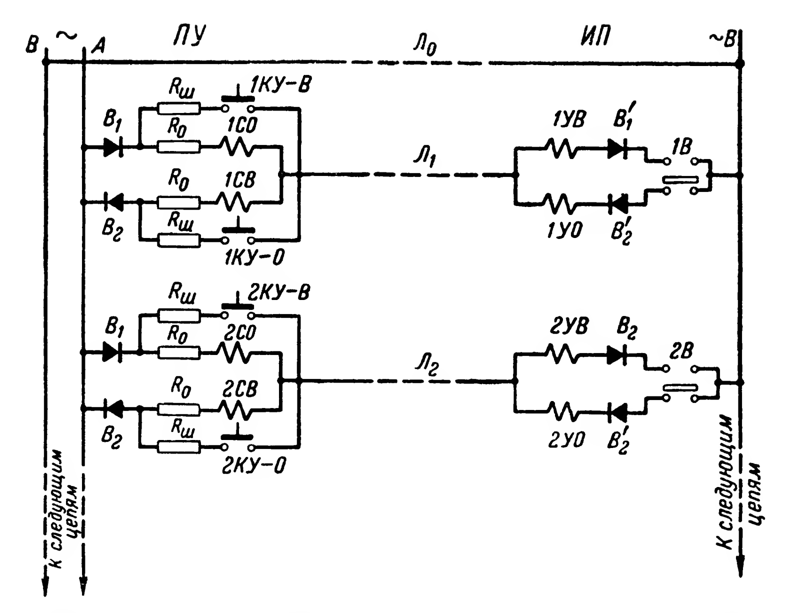



Рис. 37. Схема линейных цепей многопроводной системы телеуправления и телесигнализации.

*КУ* — ключ управления; *СО* — реле сигнализации позиции „отключено"; *СВ* — то же „включено"; *УВ* — реле управления команды „включить": *УО* — то же „отключить"; *1В*, *2В* . . . — блок-контакты исполнительных механизмов.

менного тока. Таким образом, по каждому проводу осуществляется передача четырех сигналов: двух команд и двух извещений.

Увеличение числа проводов линии связи с увеличением числа объектов управления и контроля делает многопроводные системы неэкономичными при расстоянии более 1—1,5 *км*.

## 4-4. Системы с частотным разделением

Системы этого вида получили распространение преимущественно для телемеханизации рассредоточенных объектов. Простейшая разновидность таких систем телеуправления — система с индивидуальными частотами, т. е. с прямым избиранием. Здесь каждой команде или известительному сигналу отвечает определенная частота. При этом импульсные признаки не используются. Таким образом, число частот $n$ равно общему числу команд (или извещений) $N$.

Подобный способ выполнения системы телеуправления обладает двумя принципиальными недостатками: а) велико число используемых частот, что требует расширения диапазона рабочих частот, и б) низкая помехоустойчивость, так как появление помехи со спектром, содержащим частоты, близкие к любой из рабочих частот, приводит к ошибке.

Поэтому значительно большее признание получили *комбинационные системы*. Обычно в системах этого типа применяются коды $C_n^2$, т. е. коды с параллельной посылкой двух частотных сигналов при общем числе рабочих частот $n$. Выбор такой системы кодирования определяется двумя соображениями. Во-первых, стремятся сократить число возможных частотных составляющих при перекрестной модуляции: при двухчастотном сигнале число комбинационных частот, размещенных в диапазоне рабочих частот, минимально. Во-вторых, при двухчастотных кодах крайне просто выполняется дешифратор, представляющий собой в предельном случае соединение $N$ схем совпадения. При этом приходится мириться с тем обстоятельством, что при $n>5$ комбинирование по два увеличивает избыточность (по сравнению с оптимальным комбинированием; например, для четного $n$— $C_n^{n/2}$).

Рабочие частоты, как правило, выбираются в тональном диапазоне.

Важнейшими элементами систем с частотным разделением являются частотные избиратели и генераторы.

Для выполнения частотных избирателей используется либо явление электрического резонанса (электрические избиратели), либо механического резонанса (электромеханические избиратели). Простейшим электрическим избирателем может быть последовательный или параллельный резонансный контур, иногда в сочетании с усилителем (рис. 38).

Из-за недостаточной избирательности резонансного контура применяют полосовые фильтры. Для сравнения на рис. 39 показаны частотные характеристики резонансного контура и двухзвенного полосового фильтра (звено типа $m$ и звено типа $k$), в которых используются катушки индуктивности одинаковой добротности. Преимущества полосового фильтра очевидны. Практически полосовые фильтры выполняют с полосой пропускания от 50—60 *гц* и более.

Из числа электромеханических избирателей применяют камертонные (рис. 40,*а*) и язычковые резонансные из-

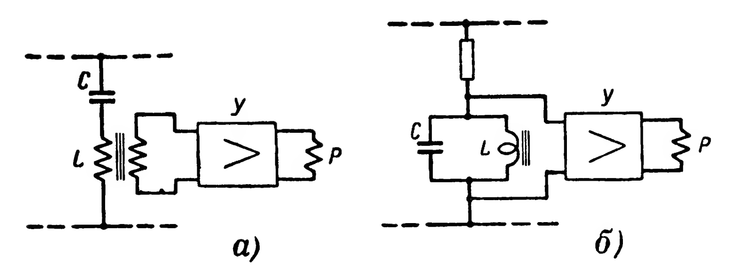



Рис. 38. Применение последовательного (*а*) и параллельного (*б*) резонансных контуров в качестве частотных избирателей.

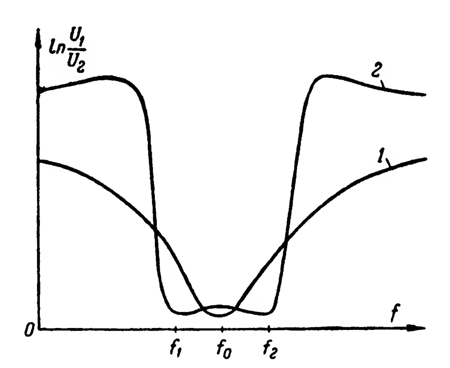



Рис. 39. Частотные характеристики резонансного контура (*1*) и полосового фильтра (*2*).

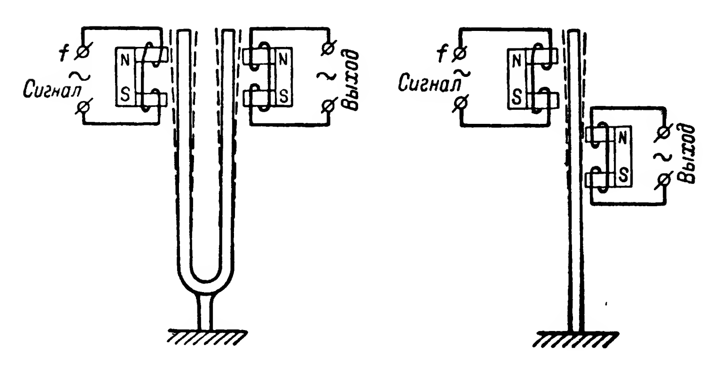



Рис. 40. Электромеханические резонансные избиратели.
*а* — камертонный; *б* — язычковый

биратели (рис. 40,*б*). В обоих случаях добротность колебательной системы велика (около 1 000), вследствие чего полоса пропускания оказывается чрезмерно узкой ($\sim 0,1\% \, f_{рез}$), что недопустимо увеличивает время нарастания напряжения на выходе колебательной системы и требует весьма высокой стабильности настройки как избирателя, так и генератора.

В случае применения для возбуждения механических колебаний и съема сигнала поляризованных электромагнитных систем (рис. 40) последние оказывают демпфирую-

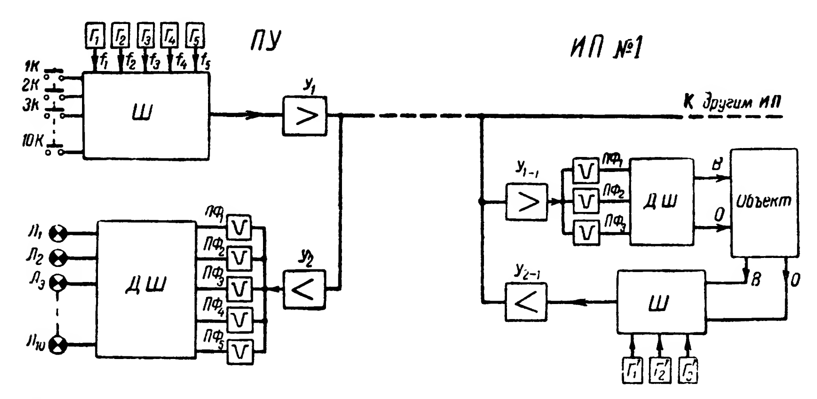



Рис. 41. Блок-схема системы телеуправления и телесигнализации с частотным разделением и комбинационным избиранием.
*Г* — генератор звуковой частоты; *Ш* — шифратор; *У* — усилитель; *ПФ* — полосовой фильтр; *ДШ* — дешифратор; *К* — ключ управления; *Л* — лампы сигнализации.

щее действие. В результате полоса пропускания расширяется примерно до $1\% \, f_{рез}$.

Наряду с рассмотренными простейшими электромеханическими избирателями, применяются более сложные механические колебательные системы с несколькими степенями свободы. Частотные характеристики таких избирателей подобны характеристикам полосовых фильтров.

На рис. 41 показана блок-схема системы телеуправления и телесигнализации с частотным разделением и комбинационным избиранием (код $C_5^2$). Система выполнена для рассредоточенных двухпозиционных объектов. С пункта управления *ПУ* сигнал переключения объекта посылается при нажатии ключа *К*. В результате к усилителю передачи $У_1$ подключаются два генератора *Г* и в линию поступает двухчастотный сигнал. На исполнительном пункте *ИП* уста-

новлены полосовые фильтры *ПФ*, пропускающие определенные частоты. При приеме соответствующей двухчастотной комбинации посланная команда расшифровывается дешифратором *ДШ* и объект получает управляющий импульс.

Телесигнализация положения объекта посылается автоматически при его переключении. При этом в течение заданного промежутка времени к усилителю передачи $У_{2-1}$ подключаются два генератора, формируя двухчастотную комбинацию сигнала. На *ПУ* принятый сигнал выделяется полосовыми фильтрами *ПФ* и расшифровывается дешифратором *ДШ*; на выходе дешифратора срабатывает сигнальное реле и включается сигнальная лампа нового положения объекта.

## 4-5. Системы с временным разделением

Системы с временны́м разделением относятся к категории наиболее универсальных систем телеуправления для сосредоточенных объектов. Число модификаций систем этого вида довольно значительно. Отличительными особенностями системы являются: способ синхронизации, метод избирания (прямое или комбинационное), вид импульсного признака, а также способ передачи сигналов (эпизодическая[1] или непрерывная, циклическая передача). До последнего времени применялись почти исключительно системы с эпизодической передачей сигналов и пошаговой синхронизацией. Такое решение определялось прежде всего свойствами используемой аппаратуры: применялась электромеханическая аппаратура (электромагнитные реле и шаговые искатели). Срок службы электромеханической аппаратуры ограничивается допустимым числом срабатываний, поэтому непрерывная (циклическая) работа системы телеуправления не могла быть допущена.

Успешное внедрение в технику телеуправления новых бесконтактных элементов аппаратуры — полупроводниковых приборов и магнитных импульсных элементов устранило эти ограничения, расширив число возможных технических решений.

Предварительно рассмотрим системы с эпизодической передачей сигналов. Наиболее простыми из числа систем с временны́м разделением являются системы с прямым изби-

---

[1] При эпизодической передаче сигналы передаются только в течение одного цикла переключений в случае возникновения нового извещения или посылки команды.

ранием, получившие название *распределительных* систем.

Для систем этого типа характерна передача на каждом шаге распределителя самостоятельного сигнала. При пошаговой синхронизации каждый импульс выполняет функции как носителя сообщения, так и импульса синхронизации распределителей. Обычно используются импульсные признаки, имеющие два значения (продолжительность импульса или интервала между импульсами или полярность). Одно из двух значений импульсного признака является активным (1) и используется для передачи команды или извещения; переключение распределителей осуществляется как при активном, так и при пассивном (0) значении импульсного признака. Пример диаграммы импульсов в канале

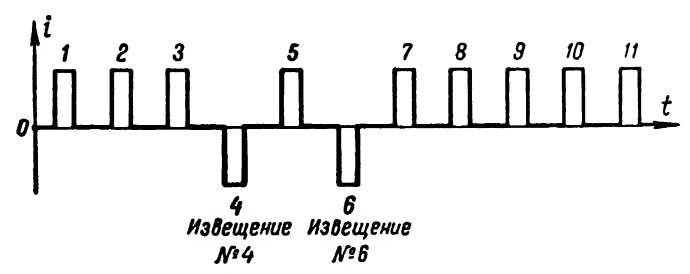



Рис. 42. Диаграмма сигнала распределительной системы с полярным импульсным признаком.

связи при использовании полярного импульсного признака приведен на рис. 42. Активные отрицательные импульсы передают соответствующие известительные сигналы (№ 4 и № 6) и служат одновременно для синхронизации; положительные импульсы — пассивные и предназначаются только для синхронизации.

Общее число извещений здесь равно числу импульсов, а следовательно, и числу шагов распределителя. Очевидно, что помехоустойчивость такой системы невысока, так как искажение любого импульса приводит к ошибке: к образованию ложного сигнала при переходе пассивного импульса в активный или к невыполнению сигнала в противоположном случае. Распределительный принцип применяется только при телесигнализации, поскольку в этом случае последствия искажения сигнала менее опасны, а передача нескольких извещений за один цикл весьма заманчива.

При телеуправлении вводится ограничение: за цикл передается только одна команда, что дает возможность обнаружить искажения сигнала. Такой способ передачи

сигнала не соответствует прямому избиранию и по существу означает применение кодированных сигналов типа $C_n^1$. В этом случае избыточность неоправданно высока, так как $C_n^1 < C_n^{n/2}$ (последний тип кодов на одно сочетание, как уже отмечалось, имеет минимальную избыточность).

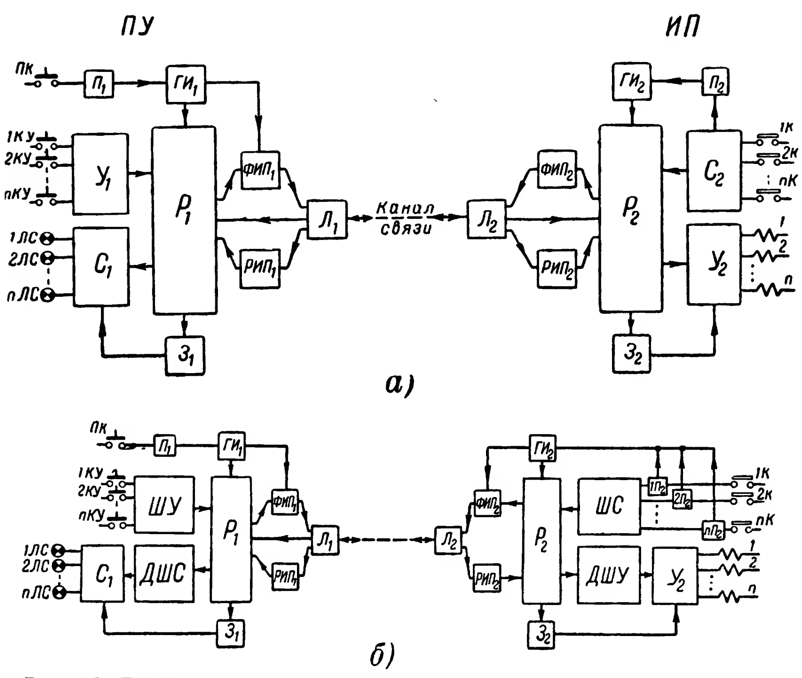



Рис. 43. Блок-схемы систем телеуправления — телесигнализации с временным разделением.

*а* — распределительная система; *б* — комбинационная система; *КУ* — командный ключ; *ПК* — пусковая кнопка; $У_1$ — индивидуальные командные элементы; *П* — пусковой элемент; *ГИ* — генератор импульсов; *Р* — распределитель; *Л* — линейный узел; *ФИП* — формирователь импульсного признака; *РИП* — различатель импульсного признака; $У_2$ — индивидуальные элементы исполнения команд; *З* — узел защиты; *К* — блок-контакты исполнительного механизма; $С_2$ — индивидуальные элементы посылки сигнализации; $С_1$ — индивидуальные исполнительные элементы сигнализации; *ЛС* — лампы сигнализации; *ШУ* — шифратор команд; *ШС* — шифратор известительной сигнализации; *ДШУ* — дешифратор команд; *ДШС* — дешифратор известительной сигнализации.

На рис. 43,*а* приведена блок-схема системы телеуправления — телесигнализации эпизодического действия, поясняющая функции и структуру устройства. Передача команды с пункта управления *ПУ* осуществляется включением соответствующего командного ключа *1КУ*, *2КУ*, ... и кратковременным нажатием пусковой кнопки *ПК*. По-

следняя включает пусковой элемент $П_1$ и тем самым генератор импульсов $ГИ_1$. Генератор импульсов управляет переключениями распределителя $Р_1$ и вместе с тем посылает импульсы в линию для управления распределителем $Р_2$, установленным на *ИП*. В результате оба распределителя переключаются практически синхронно (точнее $Р_2$ запаздывает по сравнению с $Р_1$ на время передачи импульса по каналу связи). Распределители поочередно подключают к каналу связи соответствующие ключи управления *КУ* и исполнительные цепи. При нажатии одного из ключей управления с помощью формирователя импульсного признака $ФИП_1$ значение импульсного признака изменяется и в линию посылается импульс с активным значением импульсного признака.

На *ИП* этот импульс обнаруживается различителем импульсного признака $РИП_2$. В результате на данном шаге образуется цепь для срабатывания в блоке $У_2$ выходного элемента управления, соответствующего переданной команде. Команда выполняется после проверки правильности приема сигнала, осуществляемой узлом защиты $З_2$. Принципы выполнения защит будут пояснены позднее (см. § 4-6).

Передача телесигнализации осуществляется аналогично. Автоматический пуск устройства ($П_2$, $ГИ_2$) производится при переключении блок-контактов, контролирующих положение объекта сигнализации. На *ПУ* в блоке сигнализации $С_1$ срабатывают выходные элементы сигнализации, соответствующие приему импульсов с активным значением импульсного признака, и включают сигнальные лампы *ЛС*. Следует заметить, что в цикле передачи телесигнализации, вызванной изменением состояния одного из контролируемых объектов, сигнализируется состояние не только этого, но и всех остальных объектов. В то же время все сигналы, кроме одного, не несут информации и, следовательно, создают избыточность.

Линейные узлы $Л_1$ и $Л_2$ служат для разделения местных и линейных цепей, а кроме того, используются для усиления и формирования принимаемых импульсов.

*Комбинационные системы* в значительной мере повторяют структуру и механизм передачи сигналов распределительных систем, но дополняются шифраторами ШУ, *ШС* и дешифраторами *ДШУ* и *ДШС* в трактах передачи и приема команд и извещений (рис. 43,*б*).

В последние годы выполнен ряд систем телеуправления *с циклической передачей сигналов*. В таких системах теле-

управления применяются бесконтактные элементы, что и делает возможной непрерывную работу устройств, так как срок жизни бесконтактных элементов практически не зависит от числа их срабатываний. Эти системы обычно имеют распределительное (прямое) избирание.

В простейших системах телеуправления с циклической передачей сигнала, рассчитанных на сравнительно небольшие расстояния передачи, синхронизация передающего и приемного распределителей осуществляется от общей сети электроснабжения переменного тока промышленной частоты; переключения происходят один или два раза за период промышленной частоты. Упрощенная блок-схема такой системы одностороннего действия и диаграмма импульсов в линии представлены на рис. 44,*а* и *б*. Диаграмма составлена применительно к посылке команды № 2.

Передающий распределитель $P_{\text{I}}$ выполнен по кольцевой схеме и работает непрерывно, совершая один шаг за полупериод питающего тока. Приемный распределитель $P_{\text{II}}$ соединен по схеме разомкнутого кольца и останавливается после $n$ шагов. Повторный цикл переключения $P_{\text{II}}$ начинается после приема синхронизирующего (стартового) импульса $C$, посылаемого в начале цикла $P_{\text{I}}$. Синхронизирующий импульс отличается от остальных импульсов (в данном случае—полярностью). На приемной стороне синхронизирующий импульс выделяется различителем *РСИ*. В такой схеме управления распределителями случайное нарушение синхронного переключения распределителей корректируется после каждого цикла.

Передача сигналов управления производится по принципу наличия или отсутствия очередного импульса в линии. В данном случае (посылка команды № 2) в линию поступает только импульс 2. В приемном устройстве срабатывание индивидуального элемента управления ($P_1$, $P_2$, . . .) происходит при совпадении во времени импульса от соответствующей ячейки распределителя $P_{\text{II}}$ с поступающим из линии импульсом сигнала.

Рассмотренная схема (рис. 44,*а*) предназначена лишь иллюстрировать основной принцип действия подобных устройств и не содержит ряда существенных узлов, обеспечивающих необходимую помехоустойчивость системы телеуправления.

Расстояние передачи для таких систем ограничивается наличием общей синхронной сети электроснабжения, а так-

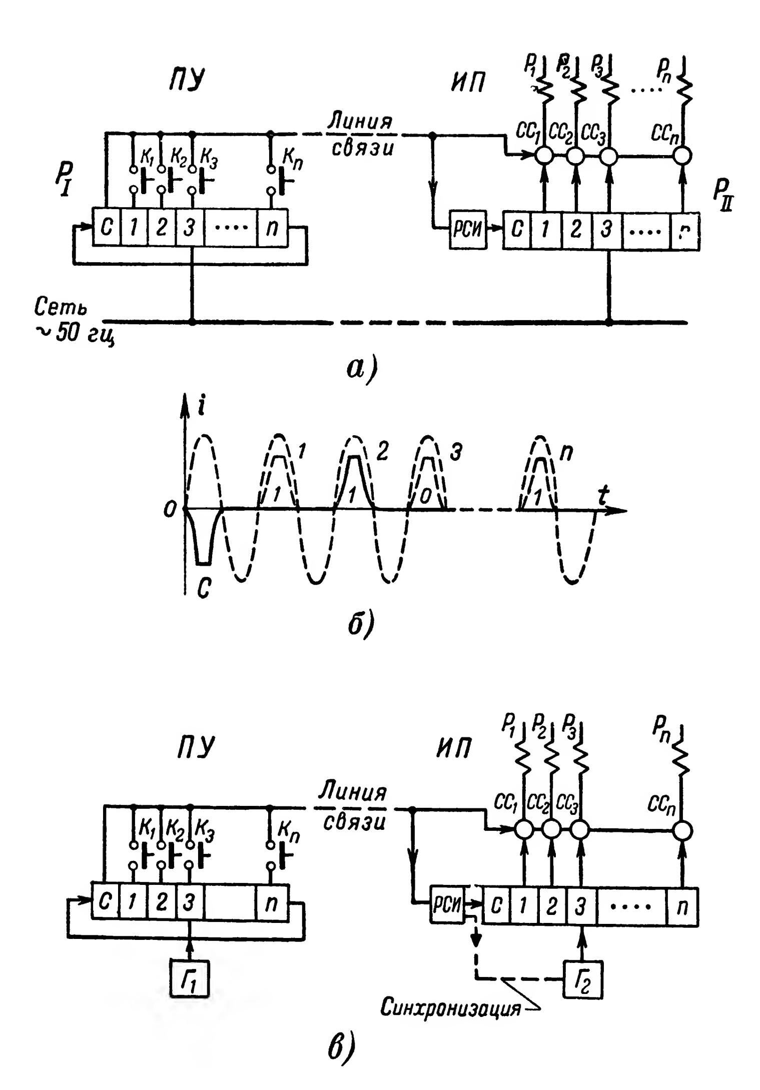



Рис. 44. Циклические системы телеуправления.

*а* — упрощенная блок-схема системы с синхронизацией общей сетью; *б* — диаграмма импульсов в линии связи; *в* — упрощенная блок схема системы с местными генераторами импульсов; $P_I$, $P_{II}$—распределители; $K_1$, $K_2$, ...— командные ключи; $CC_1$, $CC_2$ ...—схемы совпадения; $P_1$, $P_2$, . . . —исполнительные реле; *РСИ* — различитель синхронизирующего импульса; $Г_1$, $Г_2$ — генераторы.

же стабильностью угла сдвига фаз между напряжениями в точках питания передающего и приемного устройств. Надежное действие системы обеспечивается при разности фаз не более $\pm 45 \div 90°$.

Более универсальными в этом отношении являются устройства циклического действия с местными генераторами импульсов и циклической синхронизацией (рис. 44,*в*). Частоты генераторов $Г_1$ и $Г_2$ выбираются приблизительно равными. Синхронизация генератора $Г_2$ осуществляется один раз за цикл синхронизирующим импульсом. Стабильность частот генераторов должна быть достаточно высока, чтобы разность фаз колебаний $Г_1$ и $Г_2$ не превышала допустимых долей периода.

## 4-6. Защита от исполнения искаженных сигналов

Помехоустойчивость системы телеуправления не может быть абсолютной: всегда существует некоторая вероятность неправильной расшифровки сигнала, искаженного помехой; чем выше помехоустойчивость системы, тем меньше эта вероятность. Однако даже малая вероятность исполнения искаженного сигнала нежелательна, так как может привести к тяжелым последствиям для управляемой установки.

Поэтому приемная часть устройств телеуправления снабжается защитными элементами и узлами, предназначенными повысить помехоустойчивость системы. Очевидно, что защитные действия здесь ограничиваются лишь реализацией возможностей, заложенных в самой системе сигналов.

За исключением приема кодов с коррекцией искажений, защиты строятся на принципе запрета выполнения искаженных сигналов.

Наиболее употребительной защитой при комплектных сигналах является числовая, т. е. основанная на подсчете числа элементов сигнала. В системах с временным разделением такая защита одновременно контролирует синхронность переключения распределителей в течение цикла.

В комбинационных системах с кодами с обнаружением ошибки функции защиты выполняет дешифратор. При этом для реализации защитных свойств кода цепи выбора дешифратора должны реагировать как на активные («1»), так и на пассивные («0») значения импульсного признака всех элементов кода. Так, например, при контактной схеме

дешифратора цепь выбора для данного кода составляется последовательным соединением нормально закрытых контактов, соответствующих «нулям», и нормально открытых контактов для «единиц».

В некоторых системах кода (в частности, в системах с частотным разделением и др.) передача пассивных элементов, как правило, не производится. В этом случае контроль правильности приема сигнала осуществляется путем подсчета числа принятых элементов сигнала («единиц»), что возможно при кодах типа $C_n^k$ и др.

Применяются и многие другие способы защиты.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Щукин Б. К., Основы техники телеуправления, Госэнергоиздат, 1946.
2. Доманский Б. И., Введение в автоматику и телемеханику, Госэнергоиздат, 1950.
3. Сифоров В. И., Дробов С. А., Ширман Я. Д., Железнов Н. А., Теория импульсной радиосвязи, издание ЛК ВВИА, 1951.
4. Гольдман С., Гармонический анализ, модуляция и шумы, Изд. иностранной литературы, 1951.
5. Жданов Г. М., Телеизмерение, Госэнергоиздат, ч. I, 1951; ч. II, 1952.
6. Харкевич А. А., Спектры и анализ, Гостехиздат, 1957.
7. Горяинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, Госэнергоиздат, 1954.
8. Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, Гостехиздат, 1955.
9. Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах (второе издание), Госэнергоиздат, 1955.
10. Техника передачи результатов измерения по радио, Сборник переводов, Воениздат, 1955.
11. Телемеханизация в народном хозяйстве, Сборник, Изд. АН СССР, 1956.
12. Голдман С., Теория информации, Изд. иностранной литературы, 1957.
13. Управление и измерение на расстоянии. Сборники переводов, Изд. иностранной литературы, ч. I, 1957; ч. II 1959.
14. Никольс М. Х. и Раух Л. Л., Радиотелеметрия, Изд. иностранной литературы, 1958.
15. Фремке А. В., Телеизмерения, Госэнергоиздат, 1958.
16. Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С., Основы автоматики и телемеханики (второе издание), Госэнергоиздат, 1959.
17. Техника передачи измерений по радио с ракет и снарядов, Сборник переводов, Воениздат, 1959.

*Приложение 1*

**Таблица двоичных чисел**

| Десятичное число | Двоичное число | Десятичное число | Двоичное число | Десятичное число | Двоичное число | Десятичное число | Двоичное число |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 16 | 10000 | 32 | 100000 | 48 | 110000 |
| 1 | 1 | 17 | 10001 | 33 | 100001 | 49 | 110001 |
| 2 | 10 | 18 | 10010 | 34 | 100010 | 50 | 110010 |
| 3 | 11 | 19 | 10011 | 35 | 100011 | 51 | 110011 |
| 4 | 100 | 20 | 10100 | 36 | 100100 | 52 | 110100 |
| 5 | 101 | 21 | 10101 | 37 | 100101 | 53 | 110101 |
| 6 | 110 | 22 | 10110 | 38 | 100110 | 54 | 110110 |
| 7 | 111 | 23 | 10111 | 39 | 100111 | 55 | 110111 |
| 8 | 1000 | 24 | 11000 | 40 | 101000 | 56 | 111000 |
| 9 | 1001 | 25 | 11001 | 41 | 101001 | 57 | 111001 |
| 10 | 1010 | 26 | 11010 | 42 | 101010 | 58 | 111010 |
| 11 | 1011 | 27 | 11011 | 43 | 101011 | 59 | 111011 |
| 12 | 1100 | 28 | 11100 | 44 | 101100 | 60 | 111100 |
| 13 | 1101 | 29 | 11101 | 45 | 101101 | 61 | 111101 |
| 14 | 1110 | 30 | 11110 | 46 | 101110 | 62 | 111110 |
| 15 | 1111 | 31 | 11111 | 47 | 101111 | 63 | 111111 |

*Приложение 2*

**Таблица логарифмов при основании 2 для чисел от 1 до 50**

| $N$ | $\log_2 N$ | $N$ | $\log_2 N$ | $N$ | $\log_2 N$ | $N$ | $\log_2 N$ | $N$ | $\log_2 N$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | 11 | 3,459 | 21 | 4,392 | 31 | 4,954 | 41 | 5,358 |
| 2 | 1,000 | 12 | 3,585 | 22 | 4,459 | 32 | 5,000 | 42 | 5,392 |
| 3 | 1,585 | 13 | 3,700 | 23 | 4,524 | 33 | 5,044 | 43 | 5,426 |
| 4 | 2,000 | 14 | 3,807 | 24 | 4,585 | 34 | 5,087 | 44 | 5,459 |
| 5 | 2,322 | 15 | 3,907 | 25 | 4,644 | 35 | 5,129 | 45 | 5,492 |
| 6 | 2,585 | 16 | 4,000 | 26 | 4,700 | 36 | 5,170 | 46 | 5,524 |
| 7 | 2,807 | 17 | 4,087 | 27 | 4,755 | 37 | 5,209 | 47 | 5,555 |
| 8 | 3,000 | 18 | 4,170 | 28 | 4,807 | 38 | 5,248 | 48 | 5,585 |
| 9 | 3,170 | 19 | 4,248 | 29 | 4,858 | 39 | 5,285 | 49 | 5,615 |
| 10 | 3,322 | 20 | 4,322 | 30 | 4,907 | 40 | 5,322 | 50 | 5,644 |

## ЧАСТОТНЫЕ СПЕКТРЫ

### А. Непериодические сигналы

| №№ п/п. | Сигнал | График сигнала |
|---|---|---|
| 1 | Включение постоянного напряжения $u = U_0$ при $t > 0$ | |
| 2 | Прямоугольный импульс $u = U_0$ при $0 < t < t_И$ | |
| 3 | Косинусоидальный импульс $u = U_m \cos \Omega t$ при $-t_И/2 < 0 < t_И/2$ | |
| 4 | Включение синусоидального напряжения $u = U_m \sin \Omega t$ при $t > 0$ | |
| 5 | Импульс, составленный из целого числа $n$ синусоид, $u = U_m \sin \Omega t$ при $0 < t < t_И$ $t_И = n \frac{2\pi}{\Omega}$ | |

**НЕКОТОРЫХ СИГНАЛОВ**

$$C(\omega) = \frac{1}{\pi}\int\limits_0^{\infty} e^{-j\omega t}\, u(t)\, dt$$

| Модуль спектральной плотности $\mid C(\omega) \mid$ | График частотного спектра |
|---|---|
| $\dfrac{U_0}{\pi\omega}$ | |
| $\dfrac{2U_0}{\pi\omega}\left\lvert \sin\dfrac{\omega t_{И}}{2}\right\rvert$ | |
| $\dfrac{2U_m t_{И}}{\pi^2}\left\lvert \dfrac{\cos\omega\dfrac{t_{И}}{2}}{1-\left(\dfrac{2}{\pi}\omega\dfrac{t_{И}}{2}\right)^2}\right\rvert$ | |
| $\dfrac{U_m\Omega}{\pi\lvert\Omega^2-\omega^2\rvert}$ | |
| $\dfrac{2U_m\Omega}{\pi\lvert\Omega^2-\omega^2\rvert}\cdot\left\lvert\sin\pi n\dfrac{\omega}{\Omega}\right\rvert$ | |

**Б. Периодические**

| №№ п/п. | Сигнал | График сигнала | Составляющие: Постоянная составляющая $C_0$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Последовательность прямоугольных импульсов $t_И \neq \frac{T}{2}$ | | $U_0 \frac{t_И}{T}$ |
| 2 | То же $t_И = \frac{T}{2}$ | | $\frac{U_0}{2}$ |
| 3 | Последовательность косинусоидальных импульсов; $u = U_m \cos \Omega t$ во время импульса | | $\frac{U_m}{\pi}$ |
| 4 | Последовательность импульсов, составленных из целого числа синусоид, $u = U_m \sin \Omega t$ во время импульса. $t_И \neq \frac{T}{2}$ | | — |
| 5 | То же $t_И = \frac{T}{2}$ | | — |

**сигналы**

| спектра | |
|---|---|
| Амплитуды гармоник $C_k$ | График частотного спектра |
| $\frac{2U_0}{\pi k}\sin \pi k \frac{t_и}{T}$ <br> $k = 1, 2, 3, \ldots$ | $\frac{t_и}{T} = \frac{1}{5}$; $0{,}5U_0$; $\omega$; $0$, $\frac{2\pi}{T}$, $\frac{4\pi}{T}$, $\frac{6\pi}{T}$, $\frac{8\pi}{T}$, $\frac{10\pi}{T}$, $\frac{12\pi}{T}$, $\frac{14\pi}{T}$ |
| $\frac{2U_0}{\pi k}$ <br> $k = 1, 3, 5, \ldots$ | $0{,}5U_0$; $\omega$; $\frac{2\pi}{T}$, $\frac{6\pi}{T}$, $\frac{10\pi}{T}$, $\frac{14\pi}{T}$ |
| а) $\frac{U_m}{2}$ $(k = 1)$ <br> б) $\frac{2U_m}{\pi (k-1)(k+1)}$ <br> $(k = 2, 4, 6, \ldots)$ | $0{,}5U_0$; $\omega$; $0$, $\Omega$, $2\Omega$, $4\Omega$, $6\Omega$ |
| а) $U_m \frac{t_и}{T}$ $(\omega = \Omega)$ <br> б) $\frac{U_m}{\pi k}\sin \pi k \frac{t_и}{T}$ <br> $\left(\omega = \Omega \pm \frac{2\pi k}{T}\right)$ <br> $k = 1, 2, 3, \ldots$ | $\frac{t_и}{T} = \frac{1}{5}$; $0{,}5U_m$; $\omega$; $\Omega-\frac{12\pi}{T}$, $\Omega-\frac{8\pi}{T}$, $\Omega-\frac{4\pi}{T}$, $\Omega$, $\Omega+\frac{4\pi}{T}$, $\Omega+\frac{8\pi}{T}$, $\Omega+\frac{12\pi}{T}$ |
| а) $\frac{U_m}{2}$ $(\omega = \Omega)$ <br> б) $\frac{U_m}{\pi k}$ $\left(\omega = \Omega \pm \frac{2\pi k}{T}\right)$ <br> $k = 1, 3, 5, \ldots$ | $0{,}5U_m$; $\omega$; $\Omega-\frac{10\pi}{T}$, $\Omega-\frac{6\pi}{T}$, $\Omega-\frac{2\pi}{T}$, $\Omega$, $\Omega+\frac{2\pi}{T}$, $\Omega+\frac{6\pi}{T}$, $\Omega+\frac{10\pi}{T}$ |

## В Модулированные

| № п/п. | Сигнал | График сигнала |
|---|---|---|
| 1 | Синусоидальное колебание $\omega_0$, модулированное по *амплитуде* синусоидальным колебанием $\Omega$, $u = U_m(1 + m \sin \Omega t) \cdot \sin \omega_0 t$ | u t 0 |
| 2 | Синусоидальное колебание $\omega_0$, модулированное по *частоте* синусоидальным колебанием $\Omega$ $u = U_m \sin(\omega_0 t + \beta \cos \Omega t)$ | u $U_m$ t 0 $\frac{2\pi}{\Omega}$ |

(квазипериодические) сигналы

| Амплитуды частотных составляющих | График частотного спектра |
|---|---|
| а) $U_m$ $(\omega = \omega_0)$<br>б) $\frac{m}{2} U_m$ $(\omega = \omega_0 \pm \Omega)$<br>$m$ — коэффициент модуляции | $U_m$; $\frac{m}{2}U_m$; $\frac{m}{2}U_m$; $\omega$; $\omega_0-\Omega$; $\omega_0$; $\omega_0+\Omega$ |
| а) $U_m J_0(\beta)$ $(\omega = \omega_0)$<br>б) $U_m J_к(\beta)$ $(\omega_0 \pm k\Omega)$<br>$k = 1, 2, 3, \ldots$<br>$\beta = \frac{\Delta\omega_0}{\Omega}$ — индекс модуляции<br>$\Delta\omega_0$ — девиация частоты<br>$J_к(\beta)$ — функция Бесселя $k$-го порядка | $\beta=1$: $U_m$; $2\Delta\omega_0$; $\Omega$; $\Omega$; $\omega$; $\omega_0-2\Omega$; $\omega_0$; $\omega_0+2\Omega$<br>$\beta=5$: $U_m$; $2\Delta\omega_0$; $\Omega$; $\Omega$; $\omega$; $\omega_0-6\Omega$; $\omega_0-4\Omega$; $\omega_0-2\Omega$; $\omega_0$; $\omega_0+2\Omega$; $\omega_0+4\Omega$; $\omega_0+6\Omega$ |

## СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 70 к.

---

## „БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ“

### *Вышли из печати*

Выпуск 1. *Шумиловский Н. Н. и Мельтцер Л. В.*, Применение ядерных излучений для автоматического контроля технологических процессов, 1958 г., ц. 2 р. 50 к.

Выпуск 2. *Богданов Д. И. и Евдокимов Г. К.*, Феррорезонансные стабилизаторы, 1958 г., ц. 2 руб.

Выпуск 3. *Вершинин Н. И. и др.*, Автоматическое регулирование, 1959 г., ц. 3 р. 50 к.

Выпуск 4. *Декабрун И. Е.*, Электромагнитные поляризованные реле и преобразователи, 1959 г., ц. 2 руб.

Выпуск 5. *Булгаков А. А.*, Программное управление металлорежущими станками, 1959 г., ц. 3 руб.

Выпуск 6. *Катыс Г. П.*, Оптические датчики температуры, 1959, г., ц. 2 руб.

Выпуск 7. *Крассов И. М.*, Гидравлические усилители, 1959 г., ц. 2 руб.

Выпуск 8. *Юферов Ф. М.*, Электрические двигатели автоматических устройств, 1959 г., ц. 7 р. 30 к.

Выпуск 9. *Дружинин Г. М.*, Реле времени, 1959 г., ц. 2 р. 30 к.

Выпуск 10. *Круг Г. К. и Круг Е. К.*, Электрические корректирующие элементы в схемах автоматического контроля и регулирования, 1959 г. ц. 2 р. 45 к.

Выпуск 11. *Рожанский Л. Л.*, Статические электромагнитные преобразователи частоты, 1959 г., ц. 2 р. 85 к.

Выпуск 12. *Ацюковский В. А.*, Емкостные дифференциальные датчики перемещений, 1960 г., ц. 2 р. 85 к.

### *Готовятся к печати*

*Архангельский В. И.*, Бесконтактные схемы управления электроприводами реверсивных прокатных станов.

*Васильев Р. Р.* и *Шастова Г. А.*, Передача телемеханической информации.

*Волосников В. П.*, Использование вычислительных машин для автоматизации электроприводов.

*Воробьева Т. М.*, Электромагнитные муфты.

*Цогановский С. А. и Иванов В. А.*, Блок регулируемого запаздывания.

*Ильин В. А.*, Системы телемеханики для рассредоточенных объектов.

*Уланов Г. М.*, Регулирование по возмущению (компенсация возмущений и инвариантность).

*Бондаренко П. А.*, Применение вычислительных машин для автоматизации доменных печей.

---